

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN INTERRUPTOR AUTOMÁTICO CON APERTURA POR DETECCIÓN DE STANDBY Y CIERRE POR CONTROL REMOTO



Grado en Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Trabajo Fin de Grado

Autor: Arkaitz Retegi Zamorano

Director: Julio María Pascual Miqueleiz

Pamplona, 18 de junio de 2018

RESUMEN

Este proyecto se ha dirigido a la creación de un prototipo que nos permita ahorrar en los consumos eléctricos de Standby.

A pesar de que la eficiencia de equipos electrónicos ha mejorado, los modos de ahorro se han visto compensados por un gran aumento en la cantidad de productos que utilizan este modo para mantener funciones secundarias en activo, como las conexiones de red de internet.

El proyecto se divide en estudiar las oportunidades existentes, diseñar el prototipo completo e implementarlo. La actuación del prototipo se diferencia en tres bloques:

En el primer bloque se realiza el sensado de corriente. En el segundo, se analizan los datos obtenidos y se toman decisiones según el resultado. El tercer bloque se centra en ejecutar las decisiones tomadas anteriormente.

PALABRAS CLAVE

Interruptor automático

Corriente

Standby

Ahorro energético

Prototipo

ABSTRACT

This project has been aimed at the creation of a prototype that allows us to save on the electric consumption of Standby.

Although the efficiency of electronic equipment has improved, the savings devices have been offset by a large increase in the number of products used to keep secondary functions active, such as internet connections

The project is divided into the study of existing opportunities, design the complete prototype and implement it. The operation of the prototype is differentiated into three blocks:

In the first block, the current is measured. In the second, the data obtained is analyzed and decisions are made according to the result. The third block focuses on executing the decisions made previously.

KEYWORDS

Automatic switch

Current

Standby

Energy savings

Prototype

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	OBJETIVO DEL PROYECTO	1
2.	POLÍTICAS APLICADAS Y ESTADO ACTUAL	2
2.1	POLÍTICAS APLICADAS	2
2.2	ESTADO ACTUAL	3
3.	REGLAMENTO, ESTUDIOS, SOLUCIONES Y MERCADO ACTUAL	4
3.1	REGLAMENTO	4
3.2	ESTUDIOS Y RESULTADOS	6
3.2.1	PROYECTO SELINA	9
3.3	POSIBLES SOLUCIONES Y OPORTUNIDADES	13
3.4	MERCADO ACTUAL	14
3.4.1	MEDIDORES DE ENERGIA ACTIVA	15
3.4.2	INTERRUPTORES AUTOMATICOS PARA CONTROL DE STANDBY	16
4.	PROPUESTA DEL EQUIPO	17
4.1	OBJETIVOS GENERALES	17
4.2	DECISIONES TÉCNICAS	17
4.3	REQUISITOS MÍNIMOS	18
4.4	FUNCIONAMIENTO Y ESQUEMA GENERAL DEL EQUIPO	18
5.	DISEÑO DEL EQUIPO	20
5.1	ELECCIÓN DE COMPONENTES	21
5.1.1	SENSADO	21
5.1.2	CIRCUITO SE CONEXIÓN Y DESCONEXIÓN	25
5.1.3	CONTROL REMONO	28
5.1.4	MICROCONTROLADOR	31
5.1.5	ALIMENTACIÓN	33
5.1.6	OTROS	35
5.2	DISEÑO DEL CICUITO	41
5.3	FUNCIONES Y PROGRAMACION DEL MICROCONTROLADOR	44
5.3.1	PROGRAMACIÓN ISP	44
5.3.2	FUNCIONES Y CARACTERISTICAS DEL ATTINY85	46
5.3.3	CONEXIÓN SERIAL	54
6.	PRUEBAS EXPERIMENTALES	55
6.1	INTERPRETACIÓN DE DATOS	56
6.2	RESULTADOS	57
6.2.1	ENSAYO CON BANCO DE RESISTENCIAS	58

6.2.2	ENSAYO SENOIDAL Y SENOIDAL RECTIFICADA.....	59
6.2.3	COMPARATIVA OSCILOSCOPIO VS PROTOTIPO.....	60
6.2.4	CONSUMO DE UN HOGAR.....	61
6.3	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	63
6.3.1	ENSAYO CON BANCO DE RESISTENCIAS	63
6.3.2	ENSAYO SENOIDAL Y SENOIDAL RECTIFICADA.....	63
6.3.3	COMPARATIVA OSCILOSCOPIO VS PROTOTIPO.....	64
6.3.4	CONSUMO DE UN HOGAR.....	65
7.	MONTAJE FINAL	65
8.	PRESUPUESTO	66
9.	PROBLEMAS ENCONTRADOS	67
10.	CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS	68
10.1	CONCLUSIONES	68
10.2	LINEAS FUTURAS	68
11.	REFERENCIAS	69
12.	ANEXOS.....	70
12.1	ANEXO I	70
12.2	ANEXO II	72
12.3	ANEXO III.....	77



1. INTRODUCCIÓN

La energía de Standby es la electricidad utilizada por los equipos electrónicos mientras están apagados o no desempeñan su función principal. El consumo de energía en mayor medida es consumido por las fuentes de alimentación debido a los circuitos que continúan energizados incluso cuando el dispositivo está apagado. La potencia de Standby, incluido el componente armónico, es pequeña en comparación con la electricidad normal de funcionamiento.

La reducción del uso de Standby en los electrodomésticos sigue siendo un objetivo de muchas mejoras técnicas y políticas gubernamentales. Mientras que el consumo anual de energía de Standby de un dispositivo individual es típicamente pequeño, el impacto combinado de miles de millones de dispositivos es grande respecto al consumo total y las emisiones de CO₂.

Desde que se declaró la energía de Standby como desperdicio de energía de importancia considerable, se han creado iniciativas que analizan e intentan controlar este consumo acorde con las posibilidades tecnológicas. Muchas de estas iniciativas han dado lugar a regulación en muchos países y regiones. Se quiere garantizar el bajo consumo de los equipos y reducir las emisiones de CO₂ a través de la cooperación internacional.

Al mismo tiempo, los requisitos para el uso de energía en Standby y las tecnologías disponibles para proporcionar esos servicios están en constante evolución. Estos cambios justifican periódicamente un reexamen de las estrategias para reducir el uso de energía en espera.

1.1 OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo es diseñar y construir un prototipo de bajo coste, practico, que sirva en diferentes ámbitos (empresas, fabricas, hogares...), fácil de utilizar para que no quede limitado únicamente a personas que tengas conocimientos y que sea genérico, para diferentes aplicaciones.

Se estudiará la situación actual y se buscará proponer un nuevo enfoque para combatir los problemas derivados de los consumos en Standby. Primero se ofrecerán datos y estudios de investigadores donde han analizado la problemática para luego plantear diferentes opciones para resolverlos. Se investigará y se discutirá la viabilidad técnica de cada opción para luego optar por la solución más conveniente.

Finalmente, el documento proporciona conclusiones y recomendaciones.



2. POLÍTICAS APLICADAS Y ESTADO ACTUAL

Para entender la actualidad con más perspectiva es importante saber la evolución que ha tenido desde el inicio la concepción de consumo en Standby.

2.1 POLÍTICAS APLICADAS

Desde el año 1986 el modo Standby se reconoce como un área importante de desperdicio de energía. Desde este año las políticas han evolucionado constantemente creando nuevas normativas cada vez más estrictas. En la Tabla 1 se exponen algunas políticas llevados a cabo en todo el mundo desde ese reconocimiento:

1986	El modo Standby se reconoce como un área significativa de desperdicio de energía
1992	En Estados Unidos empieza el programa ENERGY STAR
1999	IEA anuncia su plan de 1-watt
2001	La Unión Europea establece un código voluntario para consumos electrónicos
2001	Australia lanza el plan de Standby
2001	Los fabricantes europeos establecen un código voluntario para los televisores
2003	California establece el requisito de 3-watt en televisores
2005	Los líderes del G8 avalan la iniciativa 1-watt de IEA en el comunicado Gleneagles
2005	Corea publica su plan de 1-watt (Programa e-Standby)
2005	La alianza Asia Pacifico comienza su proyecto de Standby
2005	Es publicado "IEC 62301 Household electrical appliances: measurement of standby power standard"
2007	Corea añade requisitos de Standby al programa "Korea Energy Efficiency Labels and Standards Program"
2008	La política de Standby de 1-watt se incluye en las políticas recomendadas de eficiencia energética
2008	IEA establece el "Implementing Agreement 4E Standby Power Annex"
2009	Brasil y Japón establece calificaciones de Standby
2010	La Unión Europea establece requisitos horizontales de 1W (2W para algunos equipos) REGLAMENTO (CE) N o 1275/2008 DE LA COMISIÓN de 17 de diciembre de 2008
2011	Segunda edición de "IEC 62301 Household electrical appliances: measurement of standby power standard"
2012	Canadá presenta estándares mínimos de rendimiento energético (MEPs) para audio, video y televisión.
2013	La Unión Europea establece requisitos horizontales de 0,5W (1W para algunos equipos) REGLAMENTO (CE) N o 1275/2008 DE LA COMISIÓN de 17 de diciembre de 2008

Tabla 1 - Evolución de las políticas de reducción del consumo Standby

Fuente: [1]



2.2 ESTADO ACTUAL

No se han realizado estimaciones recientes el ámbito del consumo energético referido al Standby. Los requisitos para el uso de energía en Standby y las tecnologías disponibles para proporcionar esos servicios están en constante evolución y dificultan la obtención de datos actualizados.

Para muchos productos el consumo en Standby se ha reducido drásticamente dado que se han mejorado las fuentes de alimentación (menores pérdidas en modo apagado y mayores eficiencias), que probablemente es el responsable de la mayoría de los ahorros. Sin embargo, la cantidad de dispositivos que consumen constantemente energía ha aumentado significadamente y tiene una tendencia al alza ya que se empieza a introducir nueva tecnología que necesitan estos modos para hacer funciones secundarias.

La tecnología ha evolucionado de forma que se han añadido modos de funcionamiento a los dispositivos, es decir, antes los aparatos solo tenían dos configuraciones de funcionamiento (encendido o apagado) y ahora en la mayoría incluye una tercera que es el modo de Standby o modo de espera, donde el dispositivo consume energía constantemente.

El entorno técnico ha cambiado con esa evolución y es imprescindible analizar los cambios más significativos que han ocurrido desde el pasado al presente.

Este nuevo entorno se puede reflejar en tres transformaciones:

1. Ha surgido una nueva función, siempre activa, la conexión de red, que permite que el dispositivo intercambie información con otros dispositivos y, a menudo, incluye una conexión a Internet. Mantener esta conexión (ignorando los equipos necesarios para mantener la conexión) puede ser de varios Watts.

Se han creado muchas soluciones diferentes para proporcionar conexiones de red en productos eléctricos, donde se emplean una variedad amplia de procedimientos de comunicaciones cableadas e inalámbricas, pero todas requieren una alimentación adicional.

Los dispositivos con conexiones a la red estarán tan presentes como aquellos con consumo de energía en Standby. Un ejemplo es la Industria 4.0 (el internet de las cosas), donde los aparatos electrónicos estarán constantemente conectados a internet, compartiendo información con la nube.

2. El uso constante de dispositivos móviles. Cada vez más productos llevan una batería interna y la importancia del tratamiento de la energía para aumentar la durabilidad ha impulsado un nuevo cambio.

Los ejemplos más fáciles de apreciar son los electrónicos, como ordenadores portátiles, teléfonos móviles, cámaras de fotos y tabletas; sin embargo, otros dispositivos como aspiradoras, cortadoras de césped... también comienzan a funcionar sin conexión de la red eléctrica.

Esta característica es esencial en los dispositivos móviles para ampliar los tiempos de operación, pero los fabricantes a menudo han transferido estas innovaciones a dispositivos más grandes diseñados para funcionar de forma permanente.



3. La aparición de productos con alimentación CC nativa. Muchos dispositivos ya cuentan con una fuente de alimentación de CA-CC para convertir la alimentación de red a CC; sin embargo, cada vez más productos operan únicamente en DC a través de USB o alimentación a través de Ethernet (Power over Ethernet (PoE)).

Algunos sistemas de iluminación comercial ahora usan PoE y los escáneres, impresoras y otros dispositivos electrónicos pequeños se basan en USB. De esta manera, la fuente de alimentación de CA ya no puede estar directamente asociado con el producto específico porque la potencia fluye a través de productos intermedios.

El estado actual del consumo de energía en espera es, por lo tanto, difícil de evaluar porque hay más productos y modos. El consumo no se ha eliminado e incluso puede estar creciendo por la cantidad de nuevos equipos que utilizan esta nueva función. El objetivo inicial de la política de reducir los niveles de potencia de reserva está perdiendo relevancia debido a las nuevas tecnologías mejoradas y las tres transformaciones descritas anteriormente.

3. REGLAMENTO, ESTUDIOS, SOLUCIONES Y MERCADO ACTUAL

3.1 REGLAMENTO

Con la iniciativa de la Agencia Internacional de la Energía (AIE), se han llevado a cabo periódicamente varias campañas de medición de los modos de baja potencia en varios países, dentro y fuera de la Unión Europea. Teniendo como base los resultados, la Unión Europea preparó una nueva regulación para limitar el consumo de energía en modo en espera y en modo apagado para los equipos no conectados a la red, que se aplica desde 2010 (REGLAMENTO (CE) N° 1275/2008 DE LA COMISIÓN). Las nuevas limitaciones para los equipos se presentaron en el ANEXO II (página 10) del reglamento.

La velocidad del avance tecnológico ha generado la necesidad de modificar esta regulación continuamente para adecuarse a los requisitos de la actualidad. La última modificación del reglamento se realizó en 2016 (REGLAMENTO (UE) 2016/2282 DE LA COMISIÓN).



En la Tabla 2 se resumen los límites establecidos hasta el año 2019 en diferentes equipos:

FUNCION/ENTRADA EN VIGOR	CONSUMO MAXIMO EN STANDBY (W)				
	01/01/2010	01/01/2013	01/01/2015	01/01/2017	01/01/2019
REACTIVACION ¹	1	0,5	0,5	0,5	0,5
VISUALIZACION O COMBINADA DE REACTIVACION/VISUALIZACION ¹	2	1	1	1	1
MODO REACTIVACION EN RED ¹			6	3	2
MODO REACTIVACION EN RED HiNA ¹			12	8	8
MODO REACTIVACION MeNA ^{2,3}			8	4	4
MODO REACTIVACION LoNA ^{2,3}			6	3	2

Tabla 2 - Limitación del consumo máximo de Standby para los equipos de nueva fabricación

¹ Fuente: [3]

² Fuente: [4]

³ Fuente: [5]

Aclaración:

- *Equipo HiNA: equipo de red con alta disponibilidad a la red, equipo que tiene como función o funciones principales una o más de las siguientes, pero no otras: enrutador, conmutador de red, punto de acceso inalámbrico a la red, concentrador, módem, teléfono VoIP, videoteléfono.*
- **Equipo con funcionalidad HiNA:** equipo en red con funcionalidad de elevada disponibilidad a la red, equipo con la funcionalidad de un enrutador, conmutador de red, punto de acceso inalámbrico a la red o una combinación de ellos, pero que no sea un equipo HiNA
- **Equipo con reactivación MeNA:** modo dormido con capacidad de despertar remotamente
- **Equipo con reactivación LoNA:** modo dormido con el menor consumo de energía con capacidad de despertar remotamente
- **Equipo sin reactivación NoNA:** modo dormido sin capacidad de despertar remotamente

Como se están creando nuevas funcionalidades los límites cada vez se generalizan menos y se crean normativas específicas para cada familia de equipos.



3.2 ESTUDIOS Y RESULTADOS

Como se ha mencionado anteriormente, saber cuál es el estado actual no es fácil por la escasez de estimaciones y proyectos que hay actualmente. Se analizarán diferentes estudios realizados en la UE en el año 2000 [6] y 2010 [7]. Como los equipos han evolucionado mucho en 10 años, se compararán para ver el cambio.

El estudio [7] del 2010, llamada “Proyecto Selina”, es un proyecto desarrollado por la Unión Europea. En este proyecto se utilizarán como referencia los resultados de este estudio ya que fue desarrollado con la participación de diferentes estados miembro de la OECD (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos), en la cual se midieron muchos equipos con la misma metodología. Los resultados se consideran muy fiables por la procedencia u el método utilizado. Mas adelante se le dedicara un apartado para profundizar y analizar más exhaustivamente.

Aunque muchos equipos medidos en el 2000 han quedado en desuso, se analizaran igualmente ya que han evolucionado a otras tecnologías que desempeñan la misma función. Por otro lado, los nuevos equipos tienen diferentes configuraciones (Standby activo, Standby pasivo, apagado...) y es difícil saber en qué modo operan en el día a día.

En la Tabla 3 se recopilan los resultados de los consumos de los equipos Standby, teniendo como referencia estudios realizados en la UE:

	AÑO EQUIPO/MODO	2000 STANDBY	2010 STANDBY	2010 OFF	DIFERENCIA STANDBY
VIDEO	TV CRT	7,3	4	2,6	-3,3
	TV LED	-	0,5	0	-6,8
	TV LCD	-	1	0,4	-6,3
	TV PLASMA	-	0,5	0,3	-6,8
	AMPLICADOR DE TV	1,8	-	-	1,2
	VCR (REPRODUCTOR VHS)	9,9	-	-	-6,9
	REPRODUCTOR CASSETTES	1	-	-	2
	REPRODUCTOR CDV	5	-	-	-2
	REPRODUCTOR DVD	15	3	1	-12
	VIDEOCONSOLAS	1,7	11,5	0,5	9,8
	DECODIFICADOR TV	11	4,5	0,3	-6,5
	DECODIFICADOR SATELITE	8,7	-	-	-4,2
	DECODIFICADOR CABLE TV	9,5	-	-	-5
	EQUIPO DE MUSICA Hi-fi	7,2	5	1,5	-2,2



DISEÑO E IMPREMENTACIÓN DE UN INTERRUPTOR AUTOMÁTICO CON APERTURA POR DETECCIÓN DE STANDBY Y CIRRE POR CONTROL REMOTO

SONIDO	RADIO	2,4	2	1,2	-0,4
	REPRODUCTOR CD	3,1	3	1,1	-0,1
	REPRODUCTOR CASSETTE	2,2	-	-	0,8
	REPRODUCTOR RADIO/CASSETTE	1,7	-	-	1,3
	DESPERADOR + RADIO	1,4	-	-	1,6
INFORMACIÓN	MONITOR PC	6,5	2	0,5	-4,5
	PC PORTATIL	6,5	1	0,5	-5,5
	MODEM	4,3	6	8	1,7
	IMPRESORA INKEJT	3,8	1	0,5	-2,8
	IMPRESORA LASER	4	0	1,5	-4
	ESCANER	5,5	-	0,4	-5,1
	ALTAVOCES PC	3	3	1,5	0
TELÉFONO	FOTOCOPIADORA	10	45	0,4	35
	TELÉFONO INALÁMBRICO	2,6	2	0,5	-0,6
	CONTESTADOR	2,8	2	0,5	-0,8
	TELEFONO + CONTESTADOR	5,1	2	0,5	-3,1
COCINA	SMARTPHONE	-	2,5	-	-0,1
	CAFETERA	1,1	3	1,2	1,9
	PLACA DE INDUCCIÓN	13,2	4	0,75	-9,2
	MICROONDAS	3,5	2,5	0,1	-1
OTROS	HORNO	14,5	2	0,5	-12,5
	CARGADOR BATERIA	1,3	0,25	-	-1,05
	CEPILLO DE DIENTES ELÉCTRICO	1,8	2	1,8	0,2

Tabla 3 - Comparativa de los consumo Standby y el modo apagado de los equipos en 2001 y 2010 en Watt-s

Fuentes: [6] , [7]

Aclaración:

- Singo negativo (-) en el resultado: en 2010 el consumo del equipo en Standby ha disminuido en comparación con el equipo del año 2010.
- Signo negativo (-) en la casilla: no hay datos, es consumo es 0 W o el equipo no tiene la función de estar en ese modo.



- **Comparaciones:** los equipos que han quedado obsoletos y no existen en 2010 se han comparado con los equipos que han sustituido su función.

Viendo la resta de los Standby se observa que el generalmente ha bajado en la todos los casos obviando los equipos que se han quedado en desuso y los que han evolucionado a otras tecnologías que consumen más potencia activa.

En casos como las fotocopiadoras y las videoconsolas tienen un consumo mucho mayor en el 2010 pero hay que tener en cuenta que también tienen el modo apagado y no sabemos en qué modo operan con uso normal.

La evolución porcentual de la media de consumos Standby (suponiendo el Standby de fotocopiadora y videoconsola en modo off) se ve en la Tabla 4:

MEDIA 2000 (W)	MEDIA 2010 (W)	DECREMENTO %
5,59	2,42	43,29

Tabla 4 - Decremento medio porcentual desde el año 2000 hasta el año 2010 en el consumo en modo Standby

Este resultado refleja el avance y la evolución en la eficiencia de la tecnología en los últimos años. Todo indica que el consumo medio de un hogar ha disminuido, pero eso solo es verdad si la cantidad de equipos que tienen alguna funcionalidad de modo en espera no ha aumentado. Esta variable es tan importante como la eficiencia energética a la hora de calcular las pérdidas. Para tener una base mayor antes de buscar alguna solución, se analiza un estudio [8] Australiano donde cuantifican la cantidad de equipos que tenían la función de Standby en diferentes años que se presenta a continuación en la Tabla 5:

	2000	2005	2010
TOTAL STANDBY (W)	86,8	92,2	81,8
PORCENTAJE STANDBY/SONSUMO TOTAL (%)	11,6	12,3	10,9
MEDIA N° DE APLICACIONES (W)	46	55	66,8
MEDIA N° DE APLICACIONES CON CONSUMO ENERGETICO (W)	20,9	22,6	25,6
MEDIA N° DE APLICACIONES SIN CONSUMO ENERGETICO (W)	25,1	32,4	41,2

Tabla 5 - Consumo de Standby en un hogar medio de Australia y porcentaje del consumo total

¹ Fuente: [8]

² Fuente: Adaptada de [6]



Se toma como constante el Consumo de energía eléctrica (kWh per cápita) [9] en los últimos años. El consumo medio de un hogar del año 2000 se utilizará para aproximar el porcentaje de Standby/Consumo total de los otros años en la tabla.

La razón de que el consumo energético en modo Standby no haya bajado es que ha aumentado el número de aplicaciones como se demuestra en la Tabla 5. En 2010 el cambio más significativo se produce en la cantidad de equipos que están desenchufados y no consumen energía. Sin este cambio de comportamiento el consumo de Standby hubiera sido más alto.

Ha quedado demostrado que el consumo medio de cada equipo Standby ha bajado, pero la suma total de los equipos que utilizan estas funciones ha compensado el ahorro energético y se mantiene alrededor de 11% del consumo total de la casa, es decir, el problema de la perdida energética se mantiene en los niveles que estaba hace unos años.

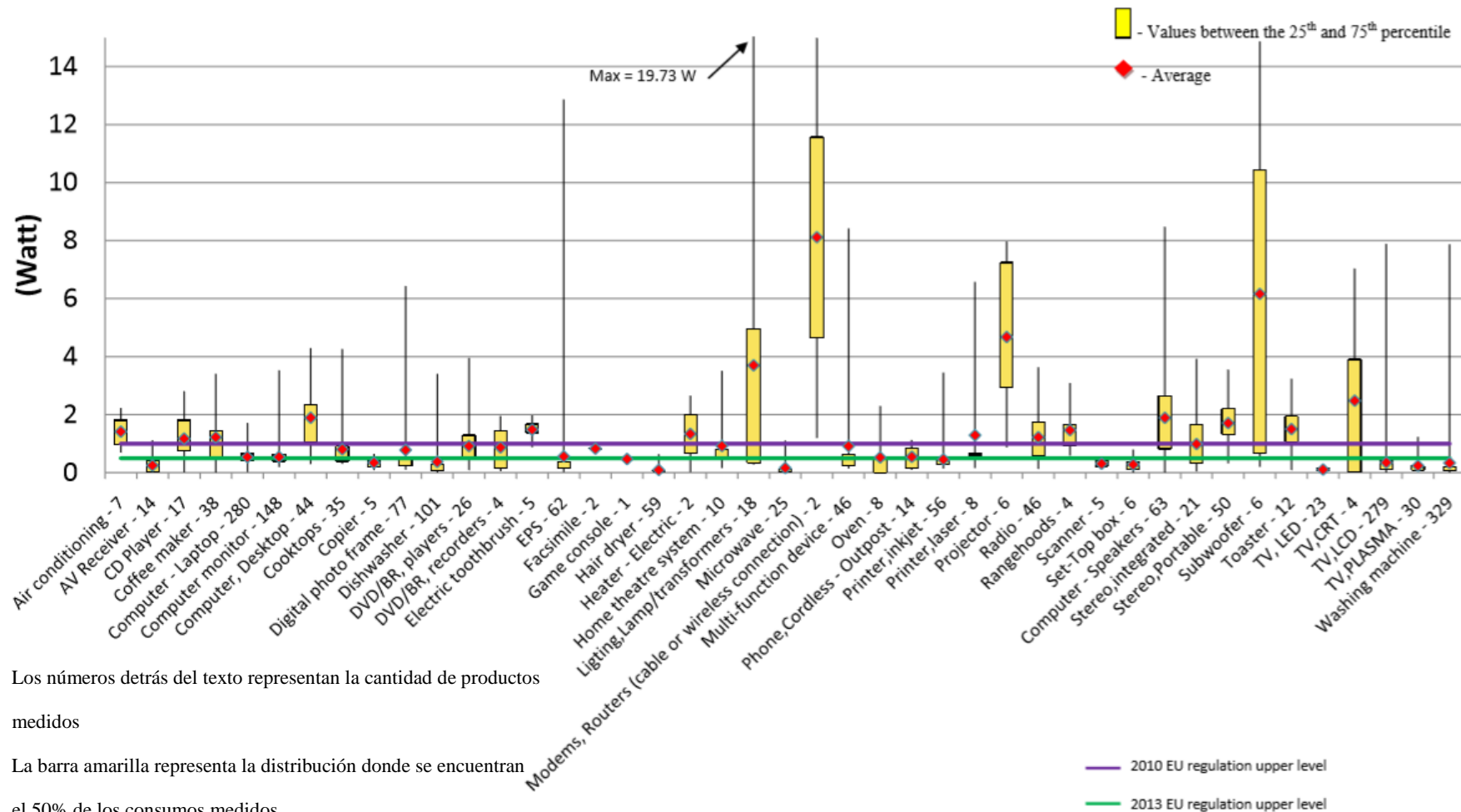
3.2.1 PROYECTO SELINA

Por último, es importante analizar un poco más en profundidad el [7] que impulso la Unión Europea donde estudiaron más de 6000 equipos en 12 estados diferentes. Todos utilizaron la misma metodología y procedimientos para obtener resultados veraces y comparables entre ellas, para luego comparar y analizar los datos recopilados.

Los datos obtenidos se compararon con la regulación presentada anteriormente para comprobar si los equipos cumplían con las exigencias y/o seguían las directrices marcadas. Los resultados se presentan en los gráficos 1 y 2:



Gráfico 1: Consumo de equipos en modo apagado



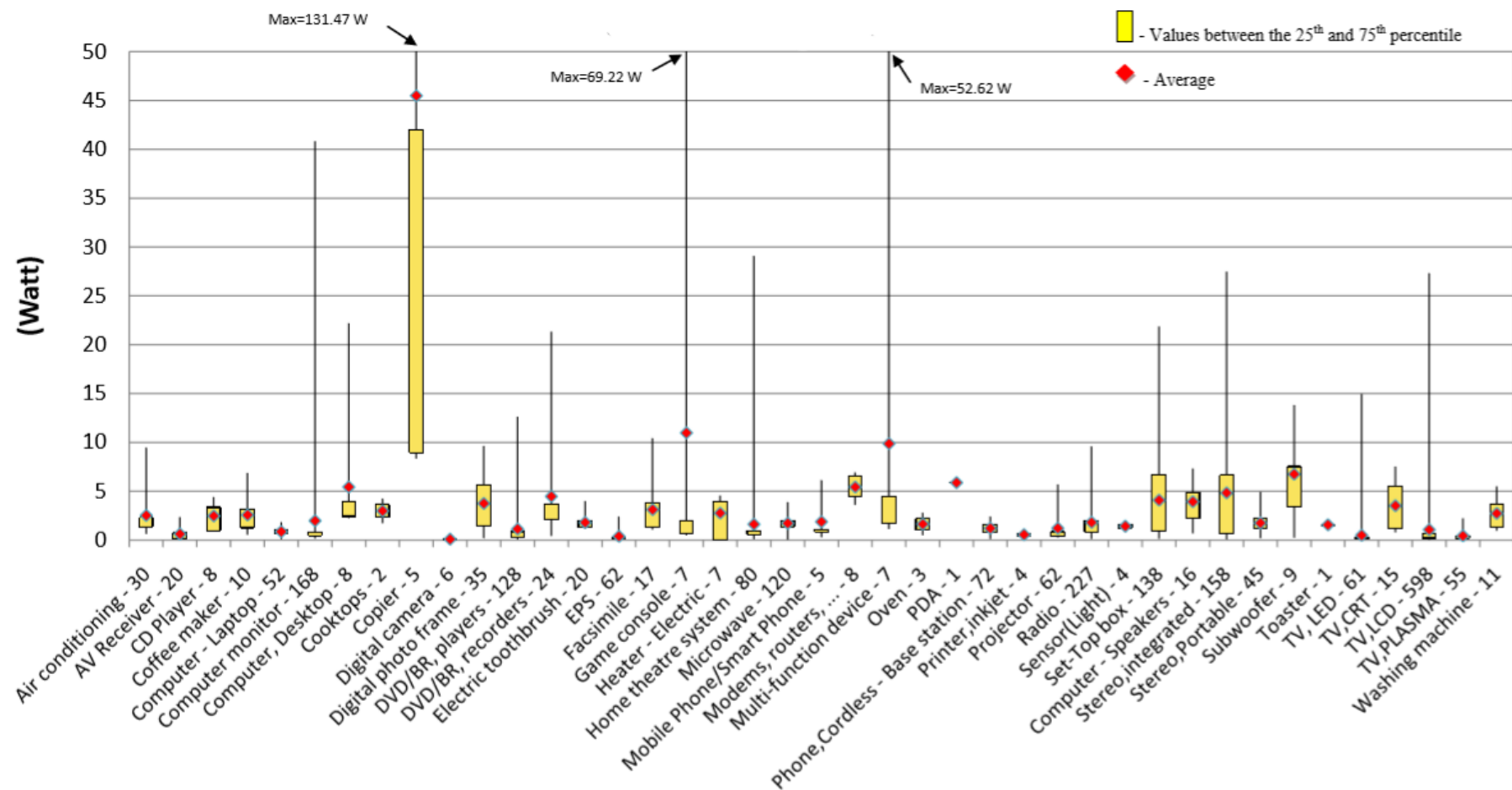
* Los números detrás del texto representan la cantidad de productos medidos

** La barra amarilla representa la distribución donde se encuentran el 50% de los consumos medidos

*** Las otras líneas negras representan el otro 50%



Gráfico 2: Consumo de equipos en Standby



* Los números detrás del texto representan la cantidad de productos medidos

** La barra amarilla representa la distribución donde se encuentran el 50% de los consumos medidos. Las otras líneas negras representan el otro 50%

*** No se presentan los límites de la UE en esta figura porque dependen de las características de cada producto (presencia de pantalla / reloj o no)



Antes de analizar los resultados, en el estudio mencionan que hay dificultades en ciertos equipos para medir los dos estados ya que pocas veces o nunca operan en ese modo y es difícil de simular. Además, no todos los equipos tienen los dos modos de funcionamiento, por lo cual, hay equipos que no están en el primer diagrama y si en la segunda, y viceversa.

Se observa que los consumos en estado apagado son menores que los consumo en Standby, algo que es lógico ya que en Standby tienen funciones secundarias en activo y consumen más energía.

En general, en los dos modos de funcionamiento, el consumo es relativamente pequeño en todos los casos, aunque haya equipos que superan fácilmente la media. También hay equipos que consumen lo mismo en Standby y en apagado como los televisores CRT o los subwoofers, y los que consumen más en modo apagado que en Standby como los modem/routers y los proyectores.

En el diagrama de Standby cabe destacar que los resultados de cada familia de equipo son sorprendentemente parecidos ya que la altura de la barra amarilla (valores entre los percentiles 75 y 25) en la mayoría de los equipos es pequeña. Como excepción se pueden destacar las fotocopiadoras (pocos equipos medidos, no se puede deducir nada), calefacción eléctrica, decodificadores y equipos de música, aunque tampoco varían demasiado.

Destacaría los equipos que tienen una gran variedad de consumos diferentes (equipos multifunción, Videoconsolas, Televisores LED, Amplificadores de música o Home cinemas) que se ve en la diferencia entre el valor máximo y el mínimo medido. Se deduce que en el mercado existen equipos que tienen menos eficiencia que otros de la misma familia, por las diferentes funciones que pueden tener, por la variedad de prestaciones y precios, por el tamaño...

Centrándonos en los valores medidos, más concretamente en la media, prácticamente todos los equipos presentan un consumo de Standby y modo apagado menor que 7W y en la mayoría de los casos rondando 1W en modo apagado y 2-3W en Standby. Son valores muy pequeños analizando individualmente, pero sumando diferentes equipos puede llegar a ser un problema.

En muchos casos se superan los límites establecidos del reglamento de UE. Para visualizar el porcentaje de equipos que están por encima de los límites, presentan esta gráfica:

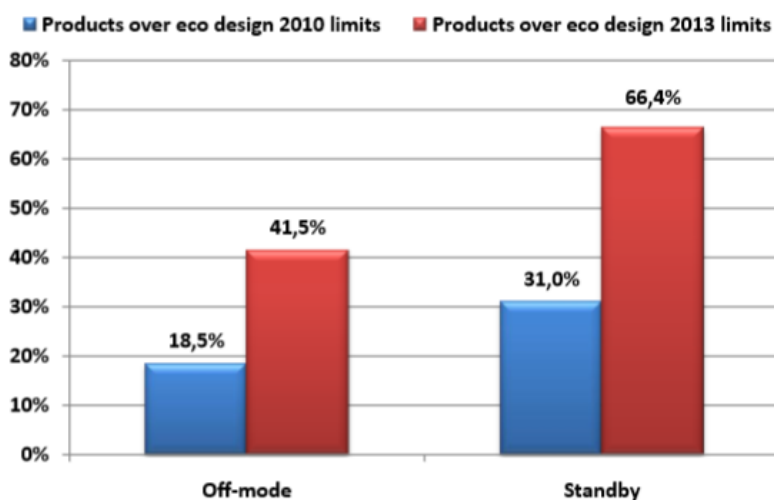


Gráfico 3 – Porcentaje de equipos que no cumplirán la normativa en los estados de Standby y modo apagado, en los años 2010 y 2013



Se puede deducir que, si no hay una mejora en prestaciones, en pocos años los equipos no cumplirán las nuevas exigencias que se presentan por la Unión Europea. Encima estos límites llevan una tendencia a la baja y llegaran al punto de exigir que los equipos no tengan que consumir energía cuando están en estos modos.

Existen diferentes proyectos [2] que se están llevando a cabo para conseguir ese consumo de 0W. Técnicamente no es que no consuman potencia, en realidad lo que se plantea es que los equipos tengan la capacidad de generar una potencia mínima por medios renovables y no depender de la alimentación externa. Asimismo, se eliminaría la influencia que tienen estos corrientes en la red eléctrica por los armónicos que se generan.

3.3 POSIBLES SOLUCIONES Y OPORTUNIDADES

Una vez estudiado el estado de la tecnología y los consumos que existen en los equipos, es momento de buscar posibles soluciones. Se plantean posibles soluciones para combatir el problema:

- Mantener el enfoque existente y reducir el consumo de modo de espera a menos de lo máximo posible. Esta opción es la más simple porque solo implica que los objetivos sean más estrictos. Este enfoque es puramente "horizontal" en el sentido de que se aplica a todos los productos por igual (o dentro de una familia). Cada vez más productos tienen este modo, pero operan poco o nada de tiempo en él.
- Establecer patrones de operación típicos para cada dispositivo y establecer objetivos para el uso total de energía. Se establece un "Consumo de energía típico (TEC)" para cada producto, en función de un patrón de operación definido. Este es el enfoque más racional porque permite a los fabricantes optimizar las inversiones en ahorro de energía, independientemente del modo. Los legisladores adoptaron este enfoque para refrigeradores, lavadoras de ropa, televisores y muchos otros productos con un uso de energía relativamente alto.

Tiene un alto costo administrativo porque cada producto debe estar claramente definido y tener su propio procedimiento de prueba. Con las transformaciones emergentes, sobre el uso de la energía de reserva descritas anteriormente, se ha limitado aún más su aplicabilidad. Por estas razones, vale la pena considerar enfoques alternativos para limitar el poder de reserva.

- Centrarse en la energía activa. Declarar la victoria sobre el modo de espera y concentrarse en reducir el uso de energía activa de un producto. Una opción es no promover nuevas reducciones en el uso de la energía de modo inactivo o Standby y en su lugar enfocarse en el ahorro de energía de los productos en sus modos activos. Ya se han realizado los ahorros fáciles y las reducciones futuras serán relativamente pequeñas, más costosas y técnicamente difíciles de lograr.

Por el contrario, es posible ahorrar más en los modos activos (porque se consume más energía en esos modos). Los fabricantes de productos móviles tendrán en cualquier caso un incentivo para hacerlos eficientes (para conservar las baterías o extender el tiempo de operación). También existen altos costos de transacción, tanto para las políticas como



para los fabricantes, al lidiar con la pequeña cantidad de ahorro de energía que se extrae de cada uno de los miles de millones de productos afectados.

En realidad, no soluciona el problema de la pérdida de energía que se plantea en este proyecto, pero es un enfoque real que se puede aplicar en la actualidad.

- Crear alternativas para suprimir las pérdidas. Otra opción, es no centrarse en la reducción del consumo del equipo en concreto y crear un dispositivo que controle la corriente de suministro a un conjunto de equipos. Muchos equipos relacionados entre ellos, como televisores, equipos de audio, videoconsolas, reproductores... u ordenadores, escáneres, impresoras, routers... se pueden reducir a un solo dispositivo a la hora de consumir energía Standby.

Esta alternativa es interesante cuando no se quiere obtener información de los equipos todo el tiempo y/o cuando el usuario quiere reducir todos los consumos en espera a un solo dispositivo.

Las tres primeras soluciones dependen de las políticas que se pueden aplicar. Ma allá de las mejoras que le pueden hacer a los productos individuales en el diseño, técnicas utilizadas, materiales.... no hay muchas oportunidades en este sentido. Se pueden crear proyectos de medición de consumos, monitorización, tratamiento de datos, análisis, mejora de diseños, búsqueda de materiales más eficientes...

En cambio, la cuarta opción, es una alternativa muy interesante, para investigar sobre la posibilidad que existe de utilizar alguna técnica o dispositivo. Se piensa que hay oportunidades de actuar en este ámbito y crear un dispositivo sencillo.

3.4 MERCADO ACTUAL

En el actual mercado existen muchas variedades de equipos de medida de corriente, monitorización de datos, actuadores eléctricos... cada uno con un enfoque diferente y su particularidad.

En este caso se diferenciarán dos bloques:

- El primer bloque se centra en los dispositivos que miden y procesan los datos para que el usuario tenga información sobre el consumo de energía activa instantánea y/o acumulada de la instalación.
- El segundo bloque se centra en dispositivos que tratan de ahorrar energía automáticamente cuando los equipos no trabajan en su función principal y están en algún modo de reposo.

Se detallarán diferentes ejemplos de dispositivos que ejercen estas funciones y se mencionarán sus características más reseñables:

3.4.1 MEDIDORES DE ENERGIA ACTIVA

- Visualización de datos mediante pantalla LCD
 - o Simplicidad.
 - o Para interés general, sin datos específicos y complejos.
 - o Visualización instantánea de datos.
 - o Lugares de aplicaciones variadas: cuadros eléctricos, tomas de corriente, puertos usb...
 - o No tienen almacenamiento de datos y no se programan.



Figura 1 - Yeeco mutimetro digital (ref: Y1600035DE)

Figura 2 - TACKLIFE medidor con pantalla LCD (ref: MDG01)

Figura 3: X4-LIFE medidor corriente alterna (ref: 700379)

- Exportación de datos y visualización en ordenador, pagina web o APP:
 - o Dependiendo del dispositivo, acceso a los datos por usb o por internet.
 - o Permiten la visualización de datos mediante graficas comparativas.
 - o Variedad de datos obtenidos.
 - o Algunos dispositivos tienen la ventaja de tener una pantalla para la visualización instantánea, como el caso anterior.
 - o No hay un control remoto en estos dispositivos.



Figura 4 - PowerTag de Schneider Electric



Figura 5 - SmartLink Elec de Schneider Electric



- Monitorización de datos y actuador
 - o Además de las ventajas mencionadas anteriormente, tienen la posibilidad de actuar sobre la línea y controlar el consumo de forma manual.



Figura 6 – Broadlink enchufe inteligente (ref: sp3s)

3.4.2 INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS PARA CONTROL DE STANDBY

- Regletas automáticos master/esclavo
 - o La corriente en la toma master controla los periféricos que están conectados a las tomas esclavas.
 - o El control es totalmente automático tanto en conexión como en desconexión
 - o No hay acceso a los datos.
 - o No hay control sobre el consumo en Standby del master.



Figura 7 – Belkin Smart Power Strip (ref: F7C007)

- Reconexión por señal inalámbrica.
 - o El dispositivo controla la corriente que circula cortando el suministro cuando entra en modo Standby.
 - o La reconexión se realiza mediante señal inalámbrica, infrarrojos, radio, bluetooth, wifi...
 - o No hay acceso a los datos.



Figura 8 – P3 International Save a watt (ref: P4150)



4. PROPUESTA DEL EQUIPO

Teniendo presente los resultados recopilados hasta ahora, el reglamento, las oportunidades existentes y el mercado actual, se ha optado en diseñar e implementar un prototipo que controle la corriente del suministro de los equipos. Su función principal es cortar el suministro cuando el prototipo detecte una bajada en el consumo y baje del límite establecido, es decir, se comportará como un interruptor automático.

4.1 OBJETIVOS GENERALES

En primer lugar, se han fijado objetivos para tenerlos como base a la hora de diseñar el prototipo.

- El objetivo principal es ahorrar la energía perdida por los equipos cuando funcionan en modo reposo indiferentemente de su función secundaria.
- El prototipo desarrollado será de bajo consumo.
- Adaptar el sistema a un hogar, con sus necesidades y características, teniendo claro que la base es crear un prototipo genérico que tenga variedad de aplicaciones. Las necesidades y características de esta aplicación originan limitaciones que se enumeraran más adelante.
- Ayudar al usuario con un diseño sencillo y fácil de entender.
- Sera transportable, es decir, no estará fijado en ningún sitio en particular y dependerá del usuario el lugar de utilización.

4.2 DECISIONES TÉCNICAS

En segundo lugar, se especifican decisiones técnicas generales:

- La red se considera infinita, sin variaciones de tensión (230 V) y frecuencia (50 Hz). Por este motivo el circuito de sensado únicamente medirá la corriente. Aunque midiendo esas dos variables se obtendrían mediciones de potencia consumida más exactas, el diseño electrónico se complicaría.
- Por la transportabilidad mencionada antes, el prototipo se conectará a la red mediante una toma de corriente estándar del hogar.
- Por la evolución en la eficiencia de los equipos individuales, el prototipo se enfocará en el control de la potencia de un conjunto de equipos. Por ello, habrá la posibilidad de conectar mínimo 3 equipos a la vez.



- Como está orientado la aplicación a un hogar, la corriente máxima se limitará a $I_{\max}=10A$. Esto implica que los componentes y las protecciones se seleccionarán teniendo como referencia la corriente máxima I_{\max} .
- El prototipo realizara mínimo 3 mediciones separadas en el tiempo antes de tomar ninguna decisión y actuar.
- El prototipo estará en reposo más del 80% del tiempo cuanto el sistema está en modo de medición. Cuando el prototipo actúe y corte el suministro al equipo, estará en modo reposo cerca del 100% del tiempo.
- La reactivación por control remoto se podrá hacer con cualquier dispositivo que tenga la capacidad de enviar señales de la longitud de onda elegida (Radio, Bluetooth, Infrarrojo...).

4.3 REQUISITOS MÍNIMOS

Por último, antes de proponer el equipo y estudiar las opciones que existen, se establecen los requisitos mínimos que tiene que cumplir:

- El consumo del prototipo como máximo será de 0.5W, cumpliendo con el reglamento vigente.
- El usuario solo puede estar en contacto con el exterior del prototipo teniendo toda la parte de potencia y la parte electrónica aislado de posibles contactos.

4.4 FUNCIONAMIENTO Y ESQUEMA GENERAL DEL EQUIPO

El cometido del prototipo es cortar el suministro a los equipos que demandan potencia cuando están funcionando en modo reposo. Para devolver al estado original, la señal de reactivación se consigue mediante control remoto, es decir, por señal inalámbrica. Además, se dará opción al usuario para fijar el valor del umbral de Standby mediante un pulsador colocado en el exterior del prototipo. Cuando el pulsador es presionado, el equipo almacenara el ultimo valor medido y se cortará el suministro a la carga conectada para que el usuario vea la reacción y se dé cuenta que se ha guardado todo correctamente.

El equipo se diseñará para que corte el suministro cuando el equipo supera los 30 segundos en estado de Standby. Se realizarán mediciones periódicas y se actuará si los resultados consecutivamente dan un resultado positivo. Como medida de protección de los equipos, se le

añadirá de función de cortar el suministro si la medición supera en algún momento la corriente máxima de 10A.

El sistema se reiniciará cuando el sensor reciba la señal de reactivación. El valor almacenado anteriormente sigue estando en la memoria hasta que decida el usuario, que siempre tiene la opción de cambiar a través del pulsador.

El funcionamiento del sistema se puede dividir en tres fases:

- Sensado de corriente
- Análisis de datos y toma de decisiones
- Ejecución de las decisiones

Todas las partes del prototipo se representan en el siguiente diagrama de bloques:

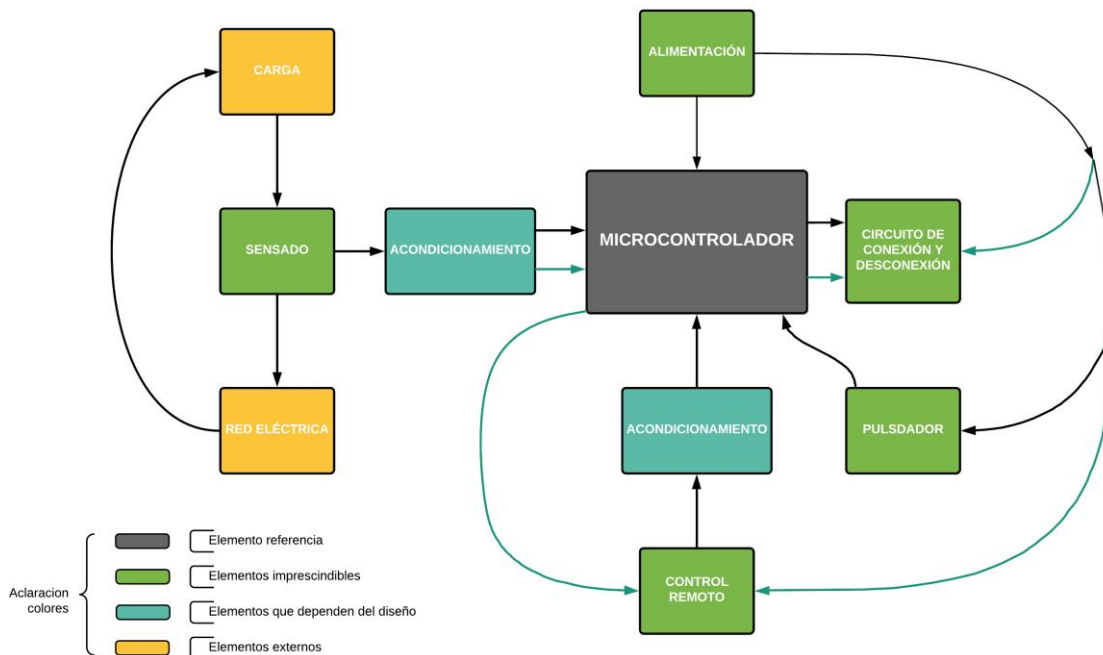


Figura 9 – Diagrama de bloques general del prototipo con señalización de flujo de corriente

Las entradas y salidas del microcontrolador se diferencian por la dirección de las flechas, donde indican el flujo de corriente. El color celeste de la flecha significa que dependerá del diseño la existencia o no de esa conexión.

En el diseño se aclararán los siguientes puntos:

- Se definirá la procedencia de la alimentación de los componentes, que será a través del microcontrolador o directamente de la fuente de alimentación escogida.
- Pines necesarios para el control del circuito de desconexión y conexión.



- El número de pines de entrada procedentes del sensado dependerán del componente seleccionado para la medición del corriente y del acondicionamiento.

A continuación, se plantean diferentes opciones para cada bloque:

- Medida y acondicionamiento
 - o Rshunt
 - o Transformador de corriente
 - o Sensor de efecto hall
 - o Bobina Rogowsky
- Circuito de conexión y desconexión
 - o Relé Bipolar
 - o Triac
- Control remoto y acondicionamiento
 - o Radio
 - o Infrarrojo
- Microcontrolador:
 - o Arduino/Genuino
 - o Raspberry Pi
 - o Microcontrolador AVR
 - o Microcontrolador PIC
- Fuente de alimentación:
 - o Pila
 - o Convertidor AC/DC

5. DISEÑO DEL EQUIPO

En este proyecto se le dará mucha importancia a la simplicidad, al ahorro energético y al rendimiento. El diseño se dividirá en bloques, con el fin de tener una mejor organización y claridad a la hora de presentar.

Primero se compararán las tecnologías que existen en el mercado y se seleccionarán los que mejor se ajusten a la aplicación. Es importante estudiar las ventajas e inconvenientes de los componentes, para que la elección sea el adecuado. En la elección de los componentes, se enumerarán las necesidades que tiene cada uno en relación con el conjunto: tipo de alimentación y numero de pines del microcontrolador requeridos.

En segundo lugar, se diseñará el circuito. Se tendrán en cuenta los componentes elegidos y las necesidades que tienen para para optimizar el resultado.

Por último, se programa el microcontrolador. Se utilizarán todas las funciones de ahorro de energía que tiene para tener la máxima eficiencia posible.



5.1 ELECCIÓN DE COMPONENTES

El orden elección de componentes será el siguiente:

- Sensado
- Circuito de conexión y desconexión
- Control remoto
- Microcontrolador
- Fuente de alimentación
- Otros

Se parte de la premisa de no utilizar componentes activos en el acondicionamiento, debido a que necesitan alimentación extra y el consumo aumenta. Esta idea afecta a la elección del tipo de sensado y a la forma de adecuar las señales del control remoto.

Todas las especificaciones (datasheets) de los componentes seleccionados estarán referenciados en el ANEXO 3.

5.1.1 SENSADO

El objetivo es tener la máxima sensibilidad para medir corrientes muy pequeñas pero que tenga la capacidad de soportar, o medir, corrientes altas. Lo ideal es tener un rango de medición amplia con alta precisión en corrientes bajas.

Un sensor de corriente es un dispositivo que convierte corriente AC o DC a una salida de tensión fácilmente medible. Los tipos de sensores más comunes son los siguientes:

- Resistivo: Shunt
- Magnéticos: De efecto Hall
- Inductivos: Transformadores de corriente
- Bobinas: Rogowsky

5.1.1.1 RESISTIVO (SHUNT)

Un shunt está conformado por una resistencia de precisión de valor óhmico por el cual pasa una corriente $i(t)$, permitiendo que un voltaje proporcional a la corriente y a su frecuencia caiga entre los terminales de la resistencia shunt.

A frecuencias altas, se debe considerar la inductancia parasita de la resistencia que suele ser de solo unos pocos nano henrios.



Como es un elemento resistivo, el calor generado en la resistencia es proporcional a la corriente que circula a través de ella. Este problema de calentamiento hace que no se utilice para corrientes altas.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Barato	Necesidad de modificar el circuito
Salida lineal	Poca capacidad de medir corrientes altas
No tienen problema de saturación	Consumo alto de potencia
Offset pequeño	Calentamiento
Poca influencia en la carga	Sin aislamiento galvánico

Tabla 6 – Ventajas y desventajas de las resistencias shunt

5.1.1.2 MAGNÉTICO (EFECTO HALL)

La corriente que circula por el conductor es afectada por el campo magnético transversal externo aplicado, generando una fuerza desviadora (Fuerza de Lorentz). Esta fuerza causa la desviación de los portadores de carga que se mueven a través del material, apareciendo una diferencia de potencial V_{xy} (voltaje de Hall) entre los extremos del conductor. Este voltaje es proporcional a la intensidad del campo magnético aplicado y su polaridad depende del signo de los portadores de carga.

La diferencia de potencial producida suele ser muy pequeñas, siendo afectadas por el ruido. Por esto, se usan materiales semiconductores especiales (arseniuro de galio (GaAs) o de indio (InAs)), donde el efecto Hall es más notable.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Gran capacidad de medir corrientes altas	Caro
No modifica el circuito	Poca linealidad
Buena respuesta frecuencial	Consumo medio de potencia
Aislamiento galvánico	Problema de saturación
	Variación de salida respecto a la Temp.
	Problema de offset
	Necesidad de alimentación

Tabla 7 - Ventajas y desventajas de los sensores de efecto Hall



5.1.1.3 INDUCTIVO (TRASNFORMADOR DE CORRIENTE)

Los trasformadores de corriente son dispositivos electromagnéticos estáticos que permiten, partiendo de una corriente alterna conectada en la entrada, obtener otra corriente alterna proporcional en la salida, que depende de la relación de transformación del trasformador.

La función de los transformadores es adecuar la corriente que circula por el primario a valores seguros. El secundario no puede estar en circuito abierto, sino únicamente en cortocircuito o con la carga del equipo de medida.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Variedad de opciones	Solo corrientes alternas
Aislamiento galvánico	Calentamiento a corrientes altas
	Afecta la frecuencia
	Tamaño
	Problema de saturación
	Intrusivo
	Necesidad de modificar el circuito

Tabla 8 - Ventajas y desventajas los trasformadores de corriente

5.1.1.4 BOBINA (ROGOWSKY)

El sensor de corriente Rogowsky mide los cambios magnéticos generados por la variación de corriente de un conductor dando como resultado una señal de voltaje proporcional a la derivada de la corriente.

La bobina Rogowsky consiste en una hélice uniforme de alambre fino, enrollada sobre un núcleo sólido de determinado material flexible, aislante, usualmente no magnético. Para medir corriente eléctrica, el núcleo flexible se dobla formando un círculo cerrado y se introduce el conductor a medir por el aro.

El rango de sensibilidad de las bobinas Rogowsky comerciales se encuentra entre 0.01mV/A hasta 100 mV/A.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Salida lineal	Necesito acondicionamiento (integrador)
Amplio ancho de banda	
Tiempo de respuesta	
Bajo consumo de potencia	
No intrusivo	
Aislamiento galvánico	
Fácil instalación	



Tabla 9 - Ventajas y desventajas de las bobinas Rogowsky

5.1.1.5 ELECCIÓN

Resistencias shunt.

Ofrecen la oportunidad de introducir la tensión medida directamente al microcontrolador sin ningún acondicionamiento. Se considera esta característica muy importante a la hora de elegir el componente.

Además, tienen la capacidad de medir un amplio rango de corrientes, únicamente limitada por la potencia máxima que soporta la resistencia. El valor de la resistencia quedara definido cuando se decida la potencia máxima que puede consumir en el estado más desfavorable, con 10A.

Por otra parte, el calentamiento no es una desventaja si el diseño se hace bien. Se soluciona fácilmente separando físicamente este componente de los demás. Asimismo, se pueden utilizar trucos para mejorar la refrigeración de la resistencia, como soldar una pista muy ancha en la placa de prototipado.

El no tener aislamiento galvánico es el inconveniente más importante de esta elección. El microcontrolador queda expuesto a los posibles fallos de red, como sobrecorrientes y sobretensiones. Además, el usuario tiene que estar aislado completamente de cualquier componente electrónico, ya que el bloque de señal queda conectado con bloque de potencia.

Se han descartado los sensores de efecto hall y los transformadores de corriente por los problemas de saturación que puedan tener con corrientes que superan el máximo admisible de los mismos. Además, el calentamiento de estos sensores tiene una influencia bastante grande en la precisión.

Por último, decir que los sensores Rogowsky presentan unas prestaciones excelentes y también sería una buena opción para esta aplicación. La única desventaja está en que necesita un integrador para adecuar el resultado para tener una tensión proporcional a la corriente.

Datos:

- Corriente máxima = 10 A
- Potencia disipación máxima = 5 W

Cálculos:

$$R_{shunt} \leq \frac{P_{max}}{I^2} = \frac{5}{10^2} = 0.05\Omega$$

$$R_{shunt} = 0.03\Omega = 30m\Omega$$

Para tener un poco de margen se sobredimensiona la resistencia.



Componente seleccionado: PWR4412-2SDR0300F



Figura 10 – Resistencia shunt: PWR4412-2SDR0300F

Necesidades: 1 o 2 Pines de entrada del microcontrolador dependiendo de la configuración

5.1.2 CIRCUITO SE CONEXIÓN Y DESCONEXIÓN

Este bloque actúa sobre el conductor que queremos controlar. Su finalidad es funcionar como un interruptor controlado con tensiones y corrientes pequeñas del microcontrolador.

Lo ideal es tener un poder de corte alto para tener capacidad de manejar corrientes altas y cortar el suministro cuando es necesario. Se diferenciarán dos tipos de componentes:

- Triac: relé de estado solido
- Relé electromagnético

Antes de analizarlos tenemos que indicar las características que tendrá nuestro prototipo:

- Pocas conmutaciones durante el día
- Variedad de cargas, inductivos y resistivos.
- Control de apertura y cierre con pulsos eléctricos

Dado que el objetivo es controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada, pueden considerarse como amplificadores eléctricos.

5.1.2.1 RELE DE ESTADO SÓLIDO

Un relé de estado sólido (SSD en inglés), es un dispositivo interruptor electrónico que conmuta cuando es aplicado un pequeño corriente es sus terminales de control. Como su nombre indica, utiliza interruptores de estado sólido como tiristores o transistores, en lugar de contactos mecánicos. El circuito de control no está aislado eléctricamente de la parte de potencia, de modo que es necesario utilizar otros componentes para generar ese aislamiento, como puede ser un optoacoplador.

Para controlar el cierre del interruptor es necesario aplicar tensión continuada a los terminales de control, debido a que no tienen la capacidad de enclavarse.



VENTAJAS	DESVENTAJAS
Tamaño reducido y compacto	Resistencia alta con circuito cerrado
Tensión de control desde 1,5V o menos	Posibles falsas conmutaciones
Silencioso	Necesidad de alimentación aislada
Rápidos	Alimentación de control continuada
Vida útil larga	Problemas con cargas inductivas
Resistencia de salida constante	
No hay rebotes	
Nos hay arcos	
Mas robusto	
No producen ondas electromagnéticas	

Tabla 10 - Ventajas y desventajas del relé de estado solido

5.1.2.2 RELE ELECTROMAGNÉTICO

Es un dispositivo interruptor controlado electrónicamente en el que, por medio de bobinas y electroimanes se controla la apertura y cierre de la línea.

Si se aplica un voltaje a la bobina (señal de control), se genera un campo magnético que provoca que los contactos actúen por la fuerza magnética generada. La variedad de tipos de relés electromagnéticos es alta, pero se clasificarán en dos grupos:

- Relés sin enclavamiento: El contacto se activa cuando existe una señal de control en la bobina y vuelve al estado inicial cuando se deja de alimentar. Dependiendo del relé una señal de control abrirá (NC, normalmente cerrado) o cerrará (NA, normalmente abierto) el circuito. NC y NA significa el estado en la cual se encuentra el interruptor cuando no hay una señal de control.
- Relés con enclavamiento: El funcionamiento del interruptor es el mismo con la diferencia de que tienen la capacidad de mantenerse en la posición de “activado” aun cuando desaparece la señal de control.



VENTAJAS	DESVENTAJAS
Resistencia pequeña en circuito cerrado	No muy compacto
Aislamiento entre control y potencia	Tensión de control desde 3V
Posibilidad de control mediante pulsos	Funcionamiento ruidoso
Gran capacidad de corte	Lentos
Barato	Desgaste y deterioro
	Posibles rebotes
	Posibles arcos eléctricos
	Producen ondas electromagnéticas

Tabla 11 - Ventajas y desventajas del relé electromagnético

5.1.2.3 ELECCIÓN

Relé electromagnético:

El relé electromagnético se adecua más a las características requeridas. Se considera que la oportunidad que presenta de controlar la apertura y cierre del sistema mediante pulsos es crucial en la elección.

Además, como el interruptor actuara en contadas ocasiones durante el día, produciendo poco desgaste, interferencias y ruido (solo en momentos puntuales), se desestimarán los argumentos presentados. Incluso el ruido que presenta al accionar el mecanismo se puede aprovechar para que el usuario tenga la ayuda sonora para escuchar el cambio de estado producido.

Se opta por un relé de doble enclavamiento (bipolar). El contacto se mantiene en la posición, abierto o cerrado, hasta que recibe una señal de cambio de posicionamiento. Esta característica se consigue con dos bobinas, una que se encarga del SET y otra que se encarga del RESET. Existe la posibilidad de utilizar una misma bobina para el SET y el RESET, pero se descarta esta opción por diseño del circuito (se detallará en el apartado “diseño del circuito”).

Requisitos:

- $V_{control}$ mínima: 3V
- Bipolar de doble enclavamiento,



Componente seleccionado: ADW1203HLW



Figura 11 – Relé: ADW1203HLW

Necesidades:

- 2 pines del microcontrolador para control
- Alimentación desde una fuente de tensión
- Tension de alimentacion = 3V
- Corriente máxima = 133,3mA

5.1.3 CONTROL REMONO

Este bloque depende totalmente de la aplicación elegida. Las distancias entre el usuario y el prototipo, y las interferencias que pueda haber son clave en la elección. En este caso, se aplica en un hogar, con distancias relativamente pequeñas y con interferencias de las paredes.

Se diferenciarán dos tipos de señales:

- Infrarrojo
- Radiofrecuencia

5.1.3.1 INFRARROJO

El control remoto IR (Infrared radiation) o mando a distancia de infrarrojos funciona emitiendo pulsos de luz infrarroja, de tipo binario, es decir, señal alta o baja. El receptor recibe los impulsos y dependiendo de la serie recibida se puede programar el dispositivo para que active una función determinada.

Este tipo de señal tiene poco alcance (solo unos metros) y necesita que el emisor apunte directamente al receptor, sin obstáculos o interferencias intermedias. Los obstáculos que pueda haber entre el emisor y el receptor pueden anular totalmente la señal.

En la composición de la luz solar está presente la luz infrarroja, que puede afectar en el resultado dependiendo de la tecnología elegida.

Los receptores de luz infrarroja se pueden clasificar en estos 3 tipos:

- Fotorresistor: la resistencia disminuye con el aumento de la intensidad de la luz. Los fotorresistores fabricados con Germanio-Cobre se utilizan para señales infrarrojas. La



variación de la resistencia tiene un retardo, por lo que no se utilizan en aplicaciones donde la velocidad es crítica. La irradiación directa de luz solar en el receptor puede tener un efecto negativo y puede variar el resultado.

- Fotodiodo: cuando es excitado por la luz produce una cierta circulación de corriente. Debido a su construcción, se comportan como células fotovoltaicas. La velocidad en comparación con los fotorresistores es mucho más rápida
- Fototransistor: como su nombre indica se basa en el funcionamiento de un transistor, donde la corriente de base es generada por la incidencia de luz. Es más sensible que un fotodiodo por el efecto de ganancia de transistor. Dependiendo de la construcción interna del fototransistor, puede dar una salida alta (tensión de alimentación) o baja (tierra) cuando el receptor recibe una señal.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Consumo bajo Receptor adaptable al mando del TV	Poco alcance Visión directa entre emisor y receptor Capacidad de controlar solo un receptor

Tabla 12 - Ventajas y desventajas del control remoto de infrarrojos

5.1.3.2 RADIOFRECUENCIA

El control remoto RF (Radiofrecuencia) funciona emitiendo ondas dentro del espectro de radiofrecuencia (porción menos energética del espectro electromagnético), que está situada entre los 3 hercios (Hz) y 300 gigahercios (GHz).

Este tipo de señal tiene un alcance mucho mayor que la señal infrarroja y no es necesario que el emisor este apuntando al receptor directamente, puesto que la señal se emite en todas las direcciones. Asimismo, los objetos que están situados entre el emisor y el receptor pueden debilitar la señal, pero no se anula.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Largo alcance Capacidad de controlar varios receptores Poca interferencia de los obstáculos	Consumo moderado de energía Genera interferencias

Tabla 13 - Ventajas y desventajas del control remoto de radiofrecuencia



5.1.3.3 ELECCIÓN

Infrarrojo:

Entre las opciones planteadas el que tiene menor consumo de energía tiene, es la tecnología infrarroja. Aunque tienen menor alcance y necesitan que la señal emitida tenga incidencia directa en el receptor, como el proyecto está dirigido a un hogar, las distancias son pequeñas y no es un problema a considerar.

Dentro de las tres opciones que se han analizado, el fototransistor ofrece las mejores prestaciones. Tiene mucha sensibilidad para leer la señal y tiene un consumo muy pequeño.

Como la señal recibida solo depende la luz infrarroja y no de la fuente emisora, existe la posibilidad de utilizar un control remoto cualquiera para obtener la salida deseada. Mas adelante se analizará en profundidad, en el apartado “diseño del circuito”.

Datos:

- Tensión de alimentación mínima: 3V
- Tensión de salida= 0V (recibe señal)
- Tensión de salida = Tensión de alimentación

Componente seleccionado: TSOP34838



Figura 12 - Receptor IR: TSOP34838

Necesidades:

- Alimentación desde 1 pin del microcontrolador o desde fuente de alimentación externa
- 1 pin de entrada para conecta la salida del receptor
- Rango tensión de alimentación: 2,5V-5,5V
- Corriente máxima = 0.45mA



5.1.4 MICROCONTROLADOR

El microcontrolador es un componente muy importante del sistema, donde se encargará de controlar todos los periféricos del prototipo. Lo ideal es elegir un microcontrolador con las capacidades de procesamiento y número de pines justas para la aplicación, es decir, no sobredimensionar y no tener funcionalidades que no se necesitan.

5.1.4.1 PLACAS DE DESARROLLO

Las placas de desarrollo (Arduino/Genuino, Raspberry Pi...) están diseñadas para la utilización en proyectos multidisciplinarios, es decir, están diseñados para acercar y facilitar el uso de la electrónica y programación de sistemas. Para aplicaciones concretas suelen estar muy sobredimensionados y el rendimiento suele ser bastante malo. Aunque en principio es la solución más simple, no es nada lógico la utilización de estas placas en productos definitivos. Mas bien, su aplicación se dirige a los sistemas de prueba o a los prototipos.

En este caso, se pueden utilizar al principio del proyecto para adecuar el sistema y hacer pruebas antes de implementar en un microcontrolador específico. Aun así, se ha decidido elegir directamente un microcontrolador que se adaptan mejor a los requisitos y se descarta esta opción.

5.1.4.2 MICROCONTROLADORES

Nos centraremos en dos familias de microcontroladores tipo RISC (Computador con Conjunto de Instrucciones Reducidas): AVR y PIC.

Los requisitos de búsqueda se resumen en esta lista:

- CPU 8-bit
- Número de pines: 8
- Voltaje de operación 3V
- Convertidor Analógico-Digital de 10 bit mínimo (2^{10})
- Modos de ahorro de energía
- Interrupciones externas

En la familia AVR los microcontroladores más pequeños, con poca capacidad de procesamiento y pocos pines, son los ATtiny. Se ha llegado a la conclusión que el microcontrolador que mejor se adapta a los requisitos es el “**ATtiny85**” (8 KB de memoria programable).

En la familia PIC los microcontroladores más pequeños, con poca capacidad de procesamiento y pocos pines, son los PIC12C508/509. Se ha llegado a la conclusión que el microcontrolador que mejor se adapta a los requisitos es el “**PIC12F210**”.

5.1.4.3 ELECCIÓN

Microcontrolador AVR: ATtiny 85–10pu:

Después de analizar las dos opciones, se ha elegido el ATtiny 85–10pu por estas razones:

- Memoria flash de 8KB (ATtiny13, ATtiny25 y ATtiny45 tienen 1KB, 2KB y 4KB respectivamente) Se ha optado por el caso más conservador. Si el diseño final es sobredimensionado se mencionará en el apartado Líneas Futuras, al final de proyecto
- Programable vía ISP
- 512 bytes memoria EEPROM
- Oscilador interno
- ADC de 10 bit:
 - 4 entradas simples
 - 2 entradas diferenciales con ganancia 1x o 20x
 - VREF programable: 1.1V, 2.56V o VCC
- Velocidad máxima del oscilador: 0 - 4 MHz (1.8 - 5.5V) o 0 - 1 0 MHz (2.7 - 5.5V)
- Modos de bajo consumo Idle, Reducción de ruido ADC y Power-down
- Consumo bajo:
 - Modo activo: 1MHz, 1.8V = 300μA
 - Modo Power-down: 1,8V= 0.1μA
- 6 pines programables + 2 pines alimentación y referencia
- Interrupciones internas y externas
- Tensión de funcionamiento: 1.8 - 5.5V



Figura 13 – Microcontrolador Attiny85: Funciones alternativas del puerto B

La diferencia entre el microcontrolador Attiny85-20pu y Attiny85-10pu está en la velocidad máxima del oscilador que soportan y la alimentación mínima que necesitan. El 20pu puede operar a 20MHz y la alimentación mínima es de 2.7V. En cambio, el 10pu como máximo opera a 10MHz, pero la alimentación mínima también es inferior, 1,8V.

En esta aplicación no necesitamos frecuencias altas de reloj y es interesante que pueda funcionar con poca tensión, por la bajada de tensión que sufren las pilas y baterías cuando se descargan. Esta característica se tomará en cuenta a la hora de elegir la fuente de alimentación. Por lo tanto, el que mejor se adapta a la aplicación es el Attiny-10pu ya que soporta alimentaciones de muy baja tensión.



5.1.5 ALIMENTACIÓN

Este bloque se analiza en último lugar porque depende de los componentes seleccionados anteriormente. El sistema completo se ha diseñado para trabajar con tensiones y corrientes pequeñas, pero todas las tecnologías no están capacitadas de alimentar correctamente el sistema. A continuación, se resumen las necesidades de los componentes seleccionados:

- Relé: tensión de alimentación mínima = 3V y corriente máxima = 133mA
- Receptor IR: tensión de alimentación = 2,5V-5,5V y corriente máxima = 0.45mA
- Microcontrolador: tensión de alimentación = 1,8V-5,5V y corriente máxima = 2mA

Se formulan dos opciones totalmente diferentes y se estudiara la viabilidad de las mismas:

- Pila/Batería
- Convertidor de tensión

5.1.5.1 PILA/BATERIA

Es un dispositivo que convierte energía química almacenada en su interior, en energía eléctrica. La obtención de esta energía eléctrica se consigue mediante la diferencia de tensión que se genera entre el polo positivo (ánodo) y el negativo (cátodo).

Las baterías, a diferencia de las pilas, son recargables y se pueden reutilizar.

A corto plazo, las pilas son baratas, pero solo es así cuando el sistema donde están instalados tiene un consumo bajo. En caso contrario, las pilas sufren descargas rápidas y se tienen que sustituir, encareciendo mucho la utilización, sin mencionar la incomodidad que genera esto.

Sin importar si en la solución final se opte por esta tecnología, se supondrá que se utilizaran las pilas no recargables para alimentar el sistema. Así, se optimizará el diseño para que tenga el mejor rendimiento posible. De este modo, si durante el diseño surge la necesidad de cambiar la alimentación del prototipo, se reducen las incompatibilidades y se encontrara una solución al problema más rápido.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Tamaño reducido	Poca energía almacenada
Baratas	Durabilidad baja con consumos altos
(Pila) Muy accesible en el mercado	(Pila) Generan basura
Variedad	(Pilas) Contamina
Caída de tensión proporcional a la energía almacenada	(Baterías) Necesidad de cargador
	Incómodo para sustituir
	Peligroso, necesidad de abrir el prototipo
	Bajo rendimiento

Tabla 14 - Ventajas y desventajas de las pilas y baterías



5.1.5.2 CONVERTIDOR AC/DC

Es un dispositivo que permite transformar la tensión de la línea a tensiones bajas, para alimentar circuitos electrónicos y microcontroladores. El rango de tensión de entrada suele ser universal, están diseñados para soportar tensiones alternas desde unos 80V hasta cerca de 300V.

Los convertidores de menos potencia son de 1W, que limita la corriente que puede ofrecer. Por ejemplo, un convertidor de 1W, con 3V en la salida, es capaz de sacar como máximo 333mA.

La eficiencia de la conversión depende de la tensión de salida. Tensiones más bajas tienen un peor rendimiento.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Tamaño medio	Bajo rendimiento
Cómodo	Corriente máxima extraíble limitada
Gran durabilidad	Consumo de potencia sin carga
Tensión de salida estable	

Tabla 15 - Ventajas y desventajas del convertidor AC/DC

5.1.5.3 ELECCIÓN

Convertidor AC/DC:

Sería interesante utilizar las pilas como alimentación del circuito, pero presenta muchas desventajas que inclinan la balanza hacia la otra opción.

La comodidad y la seguridad del usuario es vital. No se le puede dar acceso al interior del prototipo, además, sabiendo que no tenemos aislamiento galvánico entre la parte de potencia y la parte de señal.

La única desventaja que tienen los convertidores es que consumen energía cuando no están alimentando nada. Aun así, el consumo es relativamente pequeño ($<0.1W$) y no supone una pérdida importante.

Componente seleccionado: AC/DC: IRM-01-3.3



Figura 14 - Convertidor AC/DC: IRM-01-3.3 (No es el que aparece en la imagen, es de la misma familia)



5.1.6 OTROS

En este apartado se elegirán otros componentes que son necesarios para el diseño del circuito. El razonamiento de por qué se utilizan estos componentes, en caso de que sea necesario, se desarrollará en el apartado “diseño del circuito”. Los elementos se clasificarán en 3 grupos:

- Componentes eléctricos para el control
- Componentes eléctricos de protección
- Elementos conexión
- Cubierta y placa de prototipado

5.1.6.1 COMPONENTES ELÉCTRICOS

➤ Transistores y resistencias:

El microcontrolador no soporta corrientes que superan los 10mA en los pines de salida. Por tanto, es imposible controlar el relé conectando directamente los terminales a los pines del microcontrolador.

Una de las características de los transistores es que son amplificadores de señal. Se utilizará esta característica para controlar el disparo del relé con una salida digital del microcontrolador.

Datos a tener la cuenta:

- Corriente colector-emisor = 133.3mA.
- Resistencia colector = 22.5Ω
- Tensión base = 3.3V
- Tensión colector = 3.3V
- $\beta = H_{fe} = 110$ (caso más desfavorable)
-

Elección del transistor: **BC547C**

Se ha elegido el transistor del laboratorio de Energías Renovables. Corriente continua máxima colector-emisor es de 100mA inferior al requisito. Como la señal de control es pulsátil, entra dentro del margen de funcionamiento y no se quema.



Figura 15 – Transistor NPN: BC547C

Calculo de las resistencias de base:



$$I_c = \beta * I_b \rightarrow I_b = \frac{I_c}{\beta} = \frac{133.3m}{110} = 1.2118 mA$$
$$I_b = \frac{V_b - 0.7}{R} \rightarrow R = \frac{V_b - 0.7}{I_b} = \frac{3.3 - 0.7}{1.2118m} = 2145.54\Omega$$

Elección de resistencia (valor normalizado):



Figura 16 - $R=1800 \Omega$

➤ **Pulsador y resistencia:**

La función del pulsador es almacenar el último valor medido del Standby. Un terminal estará conectado a la alimentación de 3.3V y el otro al pin del microcontrolador y a la resistencia. Al pulsar el botón el pin del microcontrolador recibe los 3.3V y la corriente es derivada por la resistencia a tierra. El valor de la resistencia será alto, pero sin superar la resistencia pull-up interna del microcontrolador (20-50k Ω).

Elección del pulsador: se ha elegido un pulsador de panel en el laboratorio de Electrónica.



Figura 17 – Pulsador NA (normalmente abierto)

Elección de la resistencia:



Figura 18 – $R= 10k\Omega$



5.1.6.2 COMPONENTES DE PROTECCIÓN

➤ Diodo schottky:

La caída de tensión en la resistencia shunt no puede superar los $-0.5V$ (límite de tensión negativa en el pin de entrada del microcontrolador). Al ser una corriente alterna y al tener un pin de medida conectado a la línea, se generan tensiones negativas en la entrada. Para proteger de posibles sobrecorrientes, se coloca un diodo schottky (tensión umbral de $0.3V$) para limitar la tensión generada en la resistencia. Cuando se superan $10A$ en la línea, el diodo empieza a conducir y no sobrepasa la tensión de seguridad.

Elección de diodo: **VSB2045Y-M354**



Figura 19 – Diodo schottky: VSB2045Y-M354

➤ Fusible:

Se decide proteger el sistema de sobrecorrientes con un fusible colocado en la entrada de alimentación. El fusible se fundirá en caso de sobrepasar el valor máximo, $I_{max}=10A$.

Elección de fusible: se ha elegido un fusible del laboratorio



Figura 20 - Fusible de 250V / 10^a



5.1.6.3 ELEMENTOS DE CONEXIÓN

➤ **Portafusiles + Conector IEC14 + Interruptor:**

Se ha elegido esta configuración porque es más compacto y sencillo de instalar

Elección del componente:



Figura 21 - Conector IEC14 + Interruptor + Portafusibles

➤ **Cable de alimentación + conectores:**

El cable de alimentación será desenchufarle por los dos extremos. Se da la opción al usuario de elegir y cambiar de cable para adaptar a las condiciones del hogar.

Elección del cable:



Figura 22 - Cable de alimentación de 1 metro con terminales tipo Schuko/IEC13

➤ **Terminal PCB 5 contactos:**

El receptor infrarrojo y el pulsador están fuera de la placa del prototipado. Para hacer correctamente la conexión y dar la oportunidad de cambiar estos componentes, se utiliza un terminal con 5 contactos para conectar los cables al PCB.



Elección del terminal: 1751277

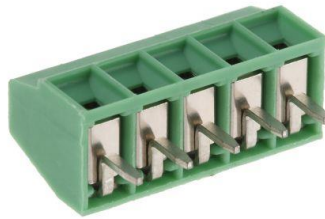


Figura 23 – Terminal de 5 contactos: 1751277

➤ **Terminal PCB 2 contactos:**

Para hacer las conexiones del bloque de potencia a la placa de prototipado se utilizan dos terminales de 2 contactos (fase y neutro).

Elección del terminal: 1888687



Figura 24 – Terminal de 2 contactos: 1888687

➤ **Tomas de corriente hembra:**

Para conectar las cargas, se instalan 3 enchufes schuko de tipo montaje en panel.

Elección del enchufe: 1461350



Figura 25 – Enchufe tipo schuko: 1461350



5.1.6.4 PLACA DE PROTOTIPADO Y CAJA

➤ Placa de prototipado:

Para este prototipo no se construye una PCB ya que sería muy caro. Todas las conexiones se realizan en una placa de prototipado mediante soldadura de estaño con la ventaja de poder hacer modificaciones en caso de error. Tiene una cara de Cu 35µm.

Elección de la placa: RE210-S1

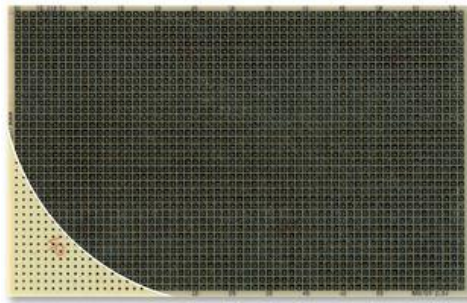


Figura 26 - Placa de prototipado: RE210-S1

➤ Caja:

Por último, escogemos una caja adecuada que tenga la capacidad suficiente de almacenamiento para meter todos los componentes dentro. Se elije la caja que más se ajusta a las necesidades. El tamaño de los enchufes, tamaño de la placa y la cantidad de componentes determinan el tamaño mínimo.

Elección de la caja: 00851



Figura 27 – Caja: 00851



5.2 DISEÑO DEL CICUITO

En este se centrará en el diseño del circuito electrónico. El objetivo final es implementar dicho circuito en una placa de circuito impreso o en una placa de prototipado.

El diseño está totalmente condicionado por las limitaciones que presenta el microcontrolador. El objetivo es sacar el máximo partido a los pines de salida/entrada que disponemos:

- Microcontrolador Attiny85: 8 pines
 - o 1 pin de alimentación – Vcc
 - o 1 pin de referencia – GND
 - o 1 pin de Reset
 - o 5 pines de entrada/salida

A continuación, se resumen las necesidades que tenemos:

- Medida:
 - o 2 pines de entrada (analógico)
- Pulsador:
 - o 1 pin de entrada
- Relé:
 - o 2 pines de salida (digital, control de disparo)
- Infrarrojos
 - o 1 pin de entrada (digital, Vout del IR)
 - o 1 pin de salida (digital, alimentación)

Se presenta un problema importante que es necesario solucionar. El microcontrolador dispone de 5 pines útiles y necesitamos 7. La única manera de solucionar este hándicap es diseñando el circuito mediante una combinación de transistores, aprovechando sus propiedades de ser amplificadores e interruptores al mismo tiempo.

Se toma una decisión fundamental antes de comenzar con el diseño, los pines de medida se utilizarán única y exclusivamente para medir. Sabiendo que se operará con tensiones muy pequeñas, es primordial reducir los ruidos que se puedan generar a la hora de medir corriente

En el primer diseño se quiso alimentar el receptor infrarrojo desde un pin del microcontrolador, para así controlar todo el tiempo la alimentación y el consumo. Las pruebas individuales daban un buen resultado, pero al unir todos los componentes, las tensiones internas afectaban el buen funcionamiento del diseño. En consecuencia, se ha tenido que modificar el circuito cuando ya estaba implementado en la placa de prototipado (se desarrollara en el apartado “problemas encontrados”). La solución es sencilla, alimentar directamente desde la fuente de alimentación. En este nuevo escenario, necesitamos 6 patillas y disponemos de 5.

Para diseñar y realizar simulaciones del circuito se ha utilizado el software informático “Proteus PCB Design & Simulation”. A continuación, se muestra el esquema de la simulación realizada:

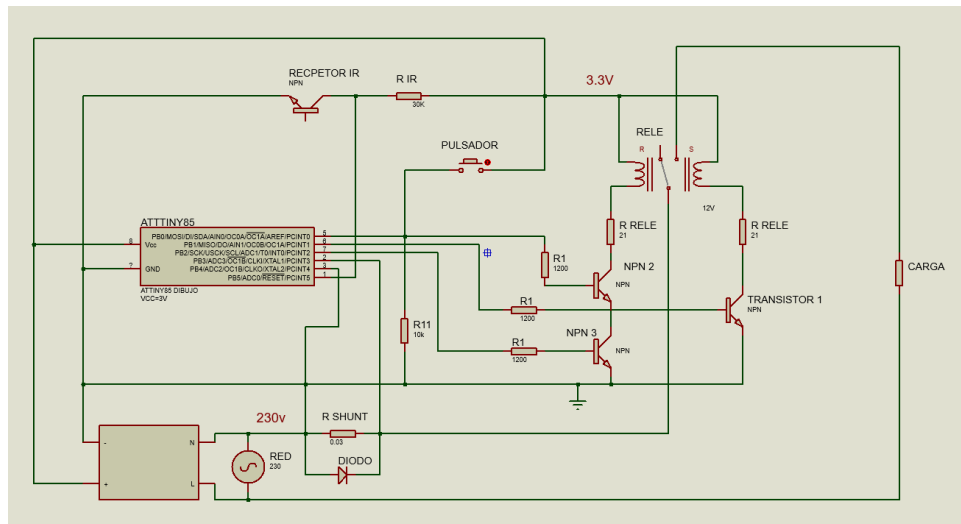


Figura 28 – Esquema realizado en Proteus PCB Design & Simulation, diseño completo del sistema

Los componentes seleccionados para la simulación son equivalentes a los componentes reales. En el diseño real el comportamiento será el mismo, pero varía el circuito en unos puntos:

- El relé tiene solo un terminal para la alimentación del control
- El receptor IR no tiene acceso a la patilla de la base

A continuación, se desarrolla en circuito diseñado, empezando desde los pines del microcontrolador.:

- Pin PB5: el terminal por defecto está configurado para resetear el sistema cuando la tensión del pin baja del 90% de la alimentación. Se ha decidido no alterar esta función ya que es necesario para reprogramar mediante la técnica ISP, técnica que se ha utilizado en este proyecto.

Se ha aprovechado el terminal para conectar la salida del receptor infrarrojos. Cuando el componente no recibe ninguna señal, el fototransistor está en corte y el terminal PB5 estará a la tensión de alimentación Vcc. Cuando recibe señales infrarrojas desde un led emisor (mando de televisión), el transistor se activa y conecta la tierra al pin RESET, reseteando el microcontrolador. La programación se encargará de resetear el relé cuando se reinicia el microcontrolador.

- Pines PB4 y PB3: los dos terminales se utilizan exclusivamente para la medida. Se mide la diferencia de tensión que cae en la resistencia. El terminal PB4 se conecta con la referencia del microcontrolador y una patilla de la resistencia, y el terminal PB5 con el otro extremo de la resistencia.

El microcontrolador solo soporta -0.5V en un terminal. Si se introduce una diferencia de tensión más negativa, el pin se puede estropear, de modo que, se protege mediante un diodo schottky de 0.3V. Cuando la caída de tensión supera ese valor, el diodo empieza a conducir y la tensión no aumenta.

- Pines PB2 y PB0: los dos terminales se utilizan como salida para controlar el disparo de los transistores, en consecuencia, se controla el reseteo del relé. Se utilizan los transistores

para conectar la tierra con la patilla negativa del relé. La única forma para que circule la corriente desde el relé a tierra, es activando los dos transistores a la vez.

Con esta configuración nos permite utilizar el terminal PB0 a nuestro gusto, ya que la activación del relé no dependerá únicamente de esa salida.

El pin PB0, cuando no está programado como salida, se puede configurar como entrada del pulsador. Así, cuando se presiona el pulsador, PB0 puede leer en cambio de estado del pin y actuar en consecuencia. En este estado, se cierra únicamente el transistor 2, manteniendo el transistor 3 abierto.

- Pin PB1: La única función de este terminal es controlar el disparo del transistor 1. Este transistor es el encargado de controlar el SET del relé.
- Pin GND: la referencia se conecta directamente con el neutro de la línea en la patilla negativa de la resistencia. Se pierde el aislamiento eléctrico de la parte de control y la parte de potencia, pero es la única forma de medir tensiones correctamente con los componentes que se han seleccionado anteriormente.
- Pin Vcc: el microcontrolador se alimenta a 3.3V

El diseño final de la placa se muestra en estas imágenes:

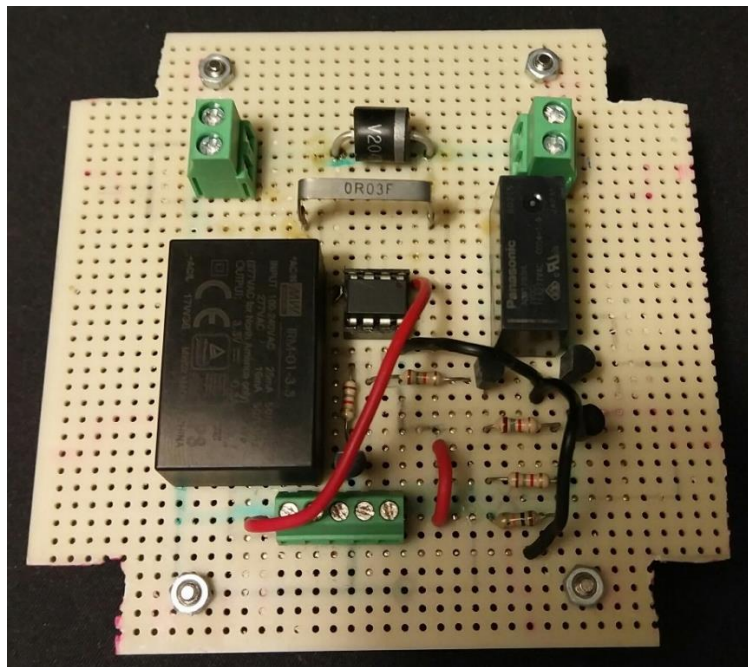


Figura 29 – Vista superior de la placa del prototipo final,

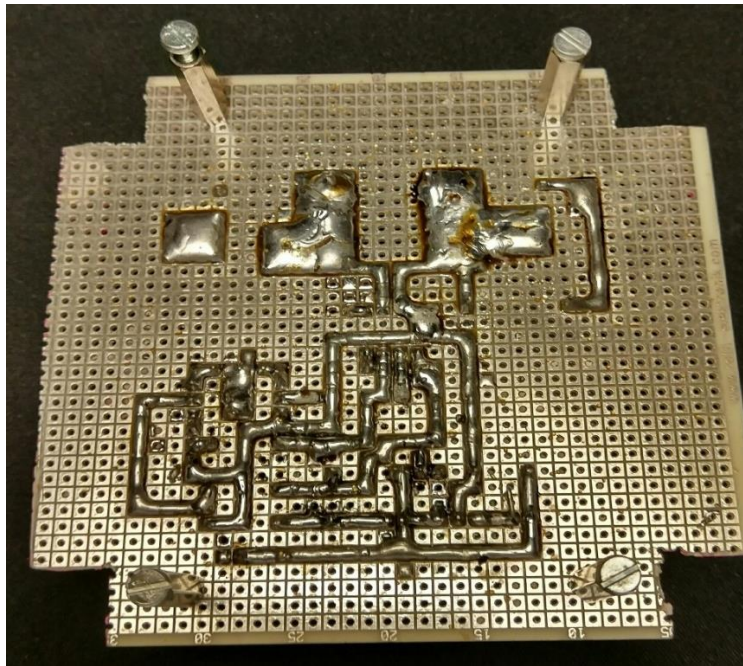


Figura 30 - Vista superior de la placa del prototipo final, pistas del circuito

Hay un problema que no se ha mencionado hasta ahora. El microcontrolador no es capaz de medir tensiones negativas, y aunque no se rompa si se mantiene dentro de los límites permitidos, la consecuencia de esto es que perdemos la mitad del periodo de la señal alterna.

Se ha considerado que no es un problema grave. Para calcular el valor RMS del consumo eléctrico de la carga, se compensará esta pérdida modificando las fórmulas de cálculo.

5.3 FUNCIONES Y PROGRAMACION DEL MICROCONTROLADOR

En este apartado, en primer lugar, se explica cuál es el método y el circuito utilizado para la programación del microcontrolador Attiny85. En segundo lugar, se analizarán las funciones y características que más interesan del microcontrolador. Por último, como preparación a los ensayos experimentales, se mostrará el circuito que se necesita para transmitir los datos medidos del microcontrolador al ordenador.

La programación final se muestra en el ANEXO II

5.3.1 PROGRAMACIÓN ISP

Programación en el sistema (ISP, en ingles in-system programmig) es la capacidad que tienen algunos dispositivos de ser programados mientras están instalados en un sistema completo, en lugar de tener que programar antes de ser instalado dentro del sistema.



Básicamente, y sin entrar en detalle, se puede programar el Arduino como un programador de microcontroladores, actuando como un puente entre el microcontrolador y el ordenador. Es la solución más económica y practica de quemar un gesto de arranque (burn a bootloader) de un microcontrolador ATmega, 32U4 o Attiny. Además, presenta la ventaja de utilizar el mismo software de Arduino, con todas las instrucciones compatibles, para la programación del Attiny (Arduino utiliza un microcontrolador de la familia Atmel).

El software de Arduino, por defecto, trae la opción de programar el Arduino como ArduinoISP. Con unas sencillas conexiones y adecuando el software, se logra programar correctamente el ATtiny85.

Los pasos a seguir enumeran a continuación:

- 1- Programar el Arduino con el ejemplo “ArduinoISP”:
 - Archivo/Ejemplos/11.ArduinoISP/ArduinoISP/Compilar/Cargar
- 2- Conectar el Attiny con el Arduino como se muestra en la figura, con un condensador de 10 μ F/25V.

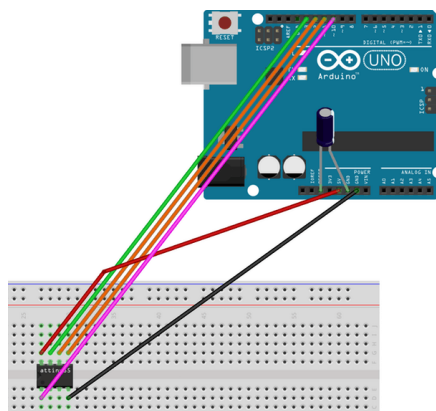


Figura 31 – Segundo paso: Esquema de las conexiones entre el Attiny y Arduino

- 3- Incluir la librería de Attiny al software de Arduino:
 - Archivo/Preferencias/ Copiar y pegar el texto¹
- 4- Instalar el microcontrolador en Gestor de Tarjetas:
 - Herramientas/Placa/Gestor de Tarjetas/ Instalar “attiny by David A. Mellis”
- 5- Por último, quemar el Bootloader con la siguiente configuración:
 - Placa: ATtiny 25/45/85
 - Procesador: ATtiny85
 - Clock: 8MHz

¹ [En línea] Disponible en: https://raw.githubusercontent.com/damellis/attiny/ide-1.6.x-boards-manager/package_damellis_attiny_index.json [Accedido: 14-Junio-2018]



5.3.2 FUNCIONES Y CARACTERÍSTICAS DEL ATTINY85

Se resumen las funciones y características configuradas en la programación:

- Puerto B
- Memoria EEPROM
- Oscilador
- Convertidor Analógico-Digital (ADC, en inglés)
- Modos de ahorro de energía
- Interrupciones

Para la programar el microcontrolador se han utilizado los registros del sistema para tener una programación optimizada. Se ha intentado emplear pocas instrucciones genéricas que trae el software ya que son pocos eficientes cuando se traduce a lenguaje maquina. A continuación, se analizan las funciones y características presentadas:

5.3.2.1 PUERTO B

El microcontrolador Attiny solo posea un puerto, denominada puerto B, que está compuesta de 6 pines programables.

Para configurar los pines, dirección de datos del pin (entrada o salida) y el estado (alto o bajo), se utiliza el registro DDRB (Port B Data Direction Register) y el registro PORTB (Port B Data Register) respectivamente:

PORTB – Port B Data Register								
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
0x18	–	–	PORTB5	PORTB4	PORTB3	PORTB2	PORTB1	PORTB0
Read/Write	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0

DDRB – Port B Data Direction Register								
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
0x17	–	–	DDRB5	DDRB4	DDRB3	DDRB2	DDRB1	DDRB0
Read/Write	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 16 – Configuración de los pines como salida/ entrada digital alto/bajo

5.3.2.2 MEMORIA EEPROM

La memoria EEPROM es un tipo de memoria ROM que puede ser programada, borrada y reprogramada. La característica principal es que no son memorias volátiles. Cuando el microcontrolador pierde la alimentación, se resetea internamente o externamente, la memoria EEPROM no se borra.

Aunque una EEPROM puede ser leída un número ilimitado de veces, sólo puede ser borrada y reprogramada entre 100.000 y un millón de veces.

Significa que no podemos estar escribiendo continuamente en esta memoria, pero se puede aprovechar para guardar indicadores como el estado del relé o el valor de Standby almacenado.

Como el acceso a la memoria es complicado, se ha decidido utilizar la librería EEPROM.h que viene por defecto en el software de Arduino. Además de facilitar la programación, es una librería pequeña y no ocupa mucha memoria flash.



5.3.2.3 OSCILADOR

Por defecto, el microcontrolador está configurado a 8MHz utilizando el oscilador interno. Si se desea cambiar este ajuste y utilizar, por ejemplo, un cristal externo, hay que cambiar los ajustes de los fusibles. Los cristales externos acompañados con un par de condensadores en paralelo son mucho más estables y exactos que los osciladores. Esta característica es importante cuando la exactitud del oscilador es crucial en la aplicación (calcular el tiempo, hacer comunicaciones entre microcontroladores o periféricos...). La desventaja principal es la necesidad de 2 pines para conectar el cristal.

En esta aplicación, como tenemos pocos pines y la exactitud del reloj no es crucial, se dejará el ajuste por defecto. Además, la programación ISP del Arduino no es compatible para cambiar los fusibles, es decir, tendríamos que buscar otra forma de programar.

Mediante el software de Arduino se puede cambiar un único bit de los fusibles, es la excepción. Tiene la opción de quemar el bootloader y cambiar el bit 7 (CKDIV8) del fusible de byte bajo (fuse low byte) a alto, lo que significa que cambia la configuración del reloj interno a 1MHz.

También existe la opción de preescalar el oscilador interno por programación. Este preescalado se realiza mediante el registro CLKPR (Clock Prescale Register) donde es posible elegir un factor de división del 1 al 256.

Table 6-15. Clock Prescaler Select

CLKPS3	CLKPS2	CLKPS1	CLKPS0	Clock Division Factor
0	0	0	0	1
0	0	0	1	2
0	0	1	0	4
0	0	1	1	8
0	1	0	0	16
0	1	0	1	32
0	1	1	0	64
0	1	1	1	128
1	0	0	0	256

Tabla 17 - Clock Prescaler Select (Tabla 6-15 datasheet)

Se opta por dejar los fusibles por defecto y utilizar el preescalado para conseguir el reloj deseado. La ventaja principal de bajar la velocidad del reloj es que el consumo del microcontrolador baja proporcionalmente. Para asegurar que el consumo baja, mas adelante se demuestra mediante un ensayo los consumos que se han medido con distintas configuraciones.

La configuración elegida es el factor de división 16:

$$F_{CPU} = \frac{8MHz}{16} = 0.5 MHz$$

5.3.2.4 CONVERTIDOR ANALOGICO DIGITAL

Cabe destacar el buen convertidor analógico-digital (ADC) interno que tiene instalado. Las tensiones de medida que se pueden originar en la medición de un equipo en Standby pueden ser muy pequeñas, de tal manera que el amplificador operacional interno que tiene es una gran ventaja a la hora de tener más sensibilidad. Con esta característica y una buena programación, es posible tener una gran sensibilidad para medir corrientes pequeñas y tener una medición más amplia para medir corrientes altas.



Para configurar el multiplexor del Convertidor Analógico-Digital se utiliza el registro ADMUX (ADC Multiplexer Selection Register). En REFSx se elige la referencia para la conversión, en MUXx se configuran los pines de entrada y la ganancia y el ADLAR afecta a la presentación del resultado de la conversión.

ADMUX – ADC Multiplexer Selection Register								
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
0x07	REFS1	REFS0	ADLAR	REFS2	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 18- ADMUX – ADC Multiplexer Selection Register (punto 17.13.1 del datasheet)

Para la elección de la tensión de referencia V_{REF} , existen cinco opciones:

- V_{cc} como referencia: con AREF desconectado de PB0
- Referencia externa AREF: con referencia interna desactivado
- Referencia interna de 1.1V: no es estable, puede variar entre 1V y 1,2V.
- Referencia interna de 2.56V: no es estable
- Referencia interna de 2.56 con condensador de bypass en PB0: muy estable, pero necesita en pin PB0 para colocar un condensador.

La forma del resultado de la conversión depende del tipo de conversión, puesto que existen 3 tipos diferentes:

- Single ended conversion: Tiene la ventaja de utilizar solo un pin de entrada que estará referenciado a la tierra (GND). Solo serviría para en esta aplicación si la tensión de entrada esta acondicionado anteriormente, antes de llegar al microcontrolador. El resultado depende de la tensión de entrada y la tensión de referencia. El resultado es:

$$ADC = \frac{V_{IN} * 1024}{V_{REF}}$$

- Unipolar differential conversion: Tiene la opción de utilizar el amplificador operacional interno, que tiene una ganancia seleccionable de 1x o 20x. Utilizar este método de conversión ahorraría la necesidad de amplificar la señal en el acondicionamiento de la medida. El resultado es:

$$ADC = \frac{(V_{POS} - V_{NEG}) * 1024}{V_{REF}} * GAIN$$

- Bipolar differential conversion: la única ventaja con el unipolar es que puede dar resultados positivos y negativos, siempre y cuando que no baje de la tensión de referencia GND. Se pierde 1 bit de conversión para el signo. Se puede hacer una medición rápida para saber el signo y cambiar al modo unipolar para recuperar el bit del signo.

$$ADC = \frac{(V_{POS} - V_{NEG}) * 512}{V_{REF}} * GAIN$$



En los tres casos no se puede obtener resultados inferiores a la GND. Por ejemplo, si la referencia es 0V y la señal es alterna, que varía de -1 a 1V, los tres casos estaría introduciendo tensión negativa a los pines y el microcontrolador se rompería (superaría el valor límite de -0,5V).

Para esta aplicación se utilizará la conversión diferencial unipolar con la referencia interna de 1.1V. La sensibilidad que se consigue con esta configuración es suficiente para ahorrar el posible amplificador operacional del acondicionamiento. Además, siempre tenemos que tener en cuenta la poca disponibilidad de pines que tiene el Attiny85.

Los pines de entrada que más se adecuan al diseño son PB4 y PB3. También se podría elegir PB5 y PB2, pero PB5 es el pin del RESET y es necesario para la programación ISP del micro. A continuación, se muestran los pines de entrada que se pueden elegir:

MUX[3:0]	Single Ended Input	Positive Differential Input	Negative Differential Input	Gain
0000	ADC0 (PB5)	N/A		
0001	ADC1 (PB2)			
0010	ADC2 (PB4)			
0011	ADC3 (PB3)			
0100	N/A	ADC2 (PB4)	ADC2 (PB4)	1x
0101 ⁽¹⁾		ADC2 (PB4)	ADC2 (PB4)	20x
0110		ADC2 (PB4)	ADC3 (PB3)	1x
0111		ADC2 (PB4)	ADC3 (PB3)	20x
1000		ADC0 (PB5)	ADC0 (PB5)	1x
1001		ADC0 (PB5)	ADC0 (PB5)	20x
1010	N/A	ADC0 (PB5)	ADC1 (PB2)	1x
1011		ADC0 (PB5)	ADC1 (PB2)	20x

Tabla 19 – Elección de pines de entrada (tabla17.4 datasheet)

En tercer lugar, hay que definir como queremos representar los datos con el bit ADLAR. Como el microcontrolador es de 8 bit y la conversión es de 10 bit, se almacena el resultado separando en dos bytes, ADCL (byte menos significativo) y ADCH (byte más significativo). Como en este proyecto queremos utilizar la conversión de 10 bit, es recomendable dejar el bit a 0, ajustando el resultado ADCH a la parte derecha. Ayuda a la reconstrucción de la conversión sumando ADCL y ADCH. Se muestra el registro:

1 ADLAR = 0

Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	
0x05	—	—	—	—	—	—	ADC9	ADC8	ADCH
0x04	ADC7	ADC6	ADC5	ADC4	ADC3	ADC2	ADC1	ADC0	ADCL
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R	R	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabla 20 – Configuración de bit ADLAR (tabla 17.13.3 del datasheet)

Para tener la máxima resolución a la hora de medir, recomiendan que el reloj ADC este entre las frecuencias 50Khz y 200KHz. No es recomendable trabajar con mediciones de más de 1MHz. Para adecuar el valor de la frecuencia se utiliza el registro ADCSRA (ADC Control and Status Register A) en los bits ADPSx:



ADPS2	ADPS1	ADPS0	Division Factor
0	0	0	2
0	0	1	2
0	1	0	4
0	1	1	8
1	0	0	16
1	0	1	32
1	1	0	64
1	1	1	128

Tabla 21- Selección del preescalado del ADC (tabla 17.5 datasheet)

Para la máxima resolución en la medida se preescala la frecuencia de reloj del CPU (0.5 MHz) con un factor de división de 8.

$$F_{ADC} = \frac{F_{CPU}}{8} = 62.5 \text{ KHz}$$

El Conversor necesita 1.5 ciclos de reloj para obtener un resultado. Entonces la frecuencia de muestreo es:

$$F_{muestreo} = \frac{F_{ADC}}{13} \approx 4,8 \text{ KHz}$$

A esta frecuencia de muestreo, las medidas que se hacen en un periodo con 50HZ:

$$N_{muestras} = \frac{F_{muestreo}}{50\text{Hz}} = 96 \text{ muestras}$$

5.3.2.5 MODOS DE AHORRO DE ENERGIA

Antes de nada, es imprescindible saber cuántos modos de ahorro de energía tiene el microcontrolador y cuando se pueden utilizar. Esa información viene en el apartado 7.1 del Datasheet:

	Active Clock Domains					Oscillators	Wake-up Sources					
	clk _{CPU}	clk _{FLASH}	clk _{IO}	clk _{ADC}	clk _{PERC}	Main Clock Source Enabled	INT0 and Pin Change	SPM/EEPROM Ready	USI Start Condition	ADC	Other I/O	Watchdog Interrupt
Sleep Mode												
Idle			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ADC Noise Reduction				X		X	X ⁽¹⁾	X	X	X		X
Power-down							X ⁽¹⁾		X			X

Note: 1. For INT0, only level interrupt.

Tabla 22 – Modos de ahorro de energía y formas de despertar (tabla 7.1 de datasheet)

De esta tabla nos interesan los modos ADC noise reduction (modo reducción de ruido) y Power-down (modo bajo consumo).

A estos modos de funcionamiento se accederá cuando estamos midiendo, para disminuir el efecto del ruido generado internamente por el sistema, y cuando queremos dormir el sistema, para ahorrar energía.



Para seleccionar el modo deseado, hay que acceder al registro MCUCR (MCU Control Register) a los bits SMx:

SM1	SM0	Sleep Mode
0	0	Idle
0	1	ADC Noise Reduction
1	0	Power-down
1	1	Reserved

Tabla 23 – Bits para seleccionar el tipo de ahorro de energía (tabla 7.2 del datasheet)

Otra forma de ahorrar energía es desactivando las funcionalidades que no se utilizan en la aplicación. Se desactivan en el registro PRR (Power Reduction Register):

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x20	–	–	–	–	PRTIM1	PRTIM0	PRUSI	PRADC	PRR
Read/Write	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 32 - Registro para desactivar funciones, Timers, USI y ADC (tabla 7.5.2 del datasheet)

5.3.2.6 INTERRUPCIONES EXTERNAS E INTERNAS

Las interrupciones se pueden utilizar para despertar el sistema cuando está en modo ahorro de energía o en cualquier momento cuando se está ejecutando el programa. Cuando ocurre la interrupción, para el reloj del CPU y se atiende la llamada. Cuando termina de ejecutar las instrucciones de la interrupción, vuelve al punto exacto donde estaba antes.

Las interrupciones que interesan en este proyecto son:

- Interrupción del Timer Watchdog:
 - Se ejecutará para despertar del modo ahorro de energía
 - Depende del oscilador independiente de 128 KHz
 - Posibilidad de preescalar y obtener tiempos de hasta 8 segundos
- Interrupción del ADC:
 - Se ejecutará cuando estamos en modo reducción de ruido ADC
 - Registro ADCSRA (ADC Control and Status Register A), bit ADIE (ADC Interrupt Enable)
- Interrupción externa INT0 y cambio de pin PCINT0:
 - En la práctica se ha demostrado que son incompatibles con el Watchdog. Se descarta completamente, hay interferencias entre las dos interrupciones.

Interrupción Timer Watchdog:

La función que tiene el temporizador Watchdog es importante. El sistema no está todo el rato midiendo el consumo que tiene la carga. En esos vacíos que el microcontrolador está esperando a medir otra vez, para ahorrar energía se duerme el sistema. La única forma de despertar de un modo Power Down sin una interrupción externa, es mediante la interrupción del Watchdog.



En esta tabla de presenta el Registro WDTCR (Watchdog Timer Control Register):

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x21	WDIF	WDIE	WDP3	WDCE	WDE	WDP2	WDP1	WDP0	WDTCR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	X	0	0	0	

Tabla 24 – Registro WDTCR (tabla 8.5.2 en el datasheet)

A continuación, se analizarán los bits más importantes del registro:

- WDIE: Watchdog Timeout Interrupt Enable (Habilita la interrupción)

WDE	WDIE	Watchdog Timer State	Action on Time-out
0	0	Stopped	None
0	1	Running	Interrupt
1	0	Running	Reset
1	1	Running	Interrupt

Tabla 25 – Configuración Watchdog Timer (tabla 8.2 en el datasheet)

En esta tabla hay un error. Los dos casos de interrupción no son el mismo caso. Cuando WDE esta activado, después de ejecutar la interrupción el microcontrolador genera un reseteo y se reinicia el microcontrolador. Como es un efecto no deseado, se utilizará la configuración de WDE=0 y WDIE=1.

- WDPx: Watchdog Timer Prescaler (Pleescalador del temporizador)

Como se ha mencionado anteriormente, el temporizador Watchdog no depende del reloj del sistema, es totalmente independiente. La frecuencia a la que trabaja es 128KHz. Para el preescalado del Watchdog se utilizan los bits WDPx:

WDP3	WDP2	WDP1	WDP0	Number of WDT Oscillator Cycles	Typical Time-out at $V_{CC} = 5.0V$
0	0	0	0	2K (2048) cycles	16 ms
0	0	0	1	4K (4096) cycles	32 ms
0	0	1	0	8K (8192) cycles	64 ms
0	0	1	1	16K (16384) cycles	0.125 s
0	1	0	0	32K (32764) cycles	0.25 s
0	1	0	1	64K (65536) cycles	0.5 s
0	1	1	0	128K (131072) cycles	1.0 s
0	1	1	1	256K (262144) cycles	2.0 s
1	0	0	0	512K (524288) cycles	4.0 s
1	0	0	1	1024K (1048576) cycles	8.0 s

Tabla 26 – Selección del preescalado de Watchdog (tabla8.3 en el datasheet)

Se utilizará la última configuración (8 segundos) para despertar el sistema cuando ocurre la interrupción. Sumando el tiempo de medida y el tiempo durmiendo se consiguen unos 9 segundos en cada ciclo.



- WDCE: Watchdog Change Enable (Habilita cambio de estado de WDE)

Deshabilitar el Watchdog o cambiar el valor del preescalado no es tan simple como poner el bit WDE o WDPx en 0. El temporizador tiene una capa de protección mayor y es necesario seguir unas instrucciones.

Para desactivar tenemos que seguir estos pasos:

- 1- En la misma instrucción tenemos que escribir 1 lógico en WDCE y WDE sin importar el estado anterior en la que estaban.
- 2- Dentro de los próximos 4 ciclos de reloj escribir WDE y WDPx como se desea.

Interrupción ADC:

Cuando se completa una medida se puede programar el registro de ADC para que genere una interrupción. Se puede utilizar esta característica sin ningún otro objetivo, pero es interesante cuando el sistema este modo reducción de ruido. En el estado modo reducción de ruido, se paran muchos componentes internos, incluido el reloj del sistema, para que no haya interferencias en la medida y disminuya el ruido, pero el convertidor sigue funcionando sin restricciones.

Si la interrupción del ADC está activa, el sistema se despertara. Este método es importante para reducir el ruido en la medida.

La interrupción se habilita con el bit ADIE, en el registro ADCSRA (ADC Control and Status Register A).

Interrupción externa INT0 y cambio de pin PCINT0:

Una de estas dos funciones se quería utilizar para despertar del modo ahorro de energía y almacenar el ultimo valor medido de Standby en la memoria EEPROM. Así, este valor guardado, sería el nuevo estado de Standby.

Han funcionado correctamente cuando se han probado individualmente, sin otra interrupción activada. Pero al programar la interrupción INT0 (pin PB2) junto con la interrupción WDT, estos han entrado en conflicto y el sistema se ha vuelto inestable.

Se ha intentado cambiar la función INT0 con el PCINT2, pero no existe esa característica en el pin PB2. Solo tiene la opción cambio de pin en el pin PB0, es decir, interrupción PCINT0. Se ha intentado cambiar el diseño para utilizar PCINT0, pero no se ha logrado un buen resultado.

Son dos errores graves que no están aclarados en el datasheet. Se había diseñado el circuito para utilizar la interrupción INT0. Sin embargo, al final se ha tenido que descartar esta opción.

La solución ha sido leer el estado del pin PB2 durante se ejecuta el programa, antes de medir. Es más incómodo ya que tenemos que estar presionando el botón hasta llegar a la instrucción, pero funciona y se toma como valido.



5.3.3 CONEXIÓN SERIAL

En el próximo apartado se harán pruebas experimentales para saber la resolución y la capacidad que tiene el sistema de medir corrientes.

El problema radica en que no se ha diseñado el circuito para la transmisión de datos desde el microcontrolador al ordenador. Para solucionar eso tenemos que programar y crear un circuito específico.

Se utilizará la técnica de depuración serie, añadiendo la librería TinyDebugSerial.h² al Attiny85. La programación realizada se muestra en el ANEXO I. Por defecto el pin PB3 es configurado para enviar datos de medida.

```
#elif defined( __AVR_ATtiny85__ )

    #if F_CPU <= 8000000L
        // port B bit 3 (PB3)
        #define TINY_DEBUG_SERIAL_REGISTER    0x18
        #define TINY_DEBUG_SERIAL_BIT        3
```

Figura 33 - Fragmento de la librería TinyDebugSerial.h

En nuestro caso los pines PB4 y PB3 son pines de entrada donde se mide la corriente. Por lo tanto, debemos hacer una modificación en la librería descargada en la línea 613, cambiando el número “3” por el pin que queramos. En nuestro caso se elige el pin PB1, número “1”:

Otra vez se utilizará un Arduino Uno como puente para la transmisión de datos. Las conexiones son las siguientes:

- Se puentean los pines GND y RESET del Arduino Uno
- La referencia de la medida tiene que estar conectado a GND del Arduino Uno
- El pin que transmite los datos se conecta con el pin Tx de Arduino Uno. Se conecta una resistencia de 380Ω entre los dos pines para proteger las corrientes que se pueden generar.
- Se conecta el Arduino mediante cable usb al ordenador.

² [En línea] Disponible en: <https://github.com/js crane/TinyDebugSerial> [Accedido: 14-junio-2018]



A continuación, se muestra un ejemplo del método:

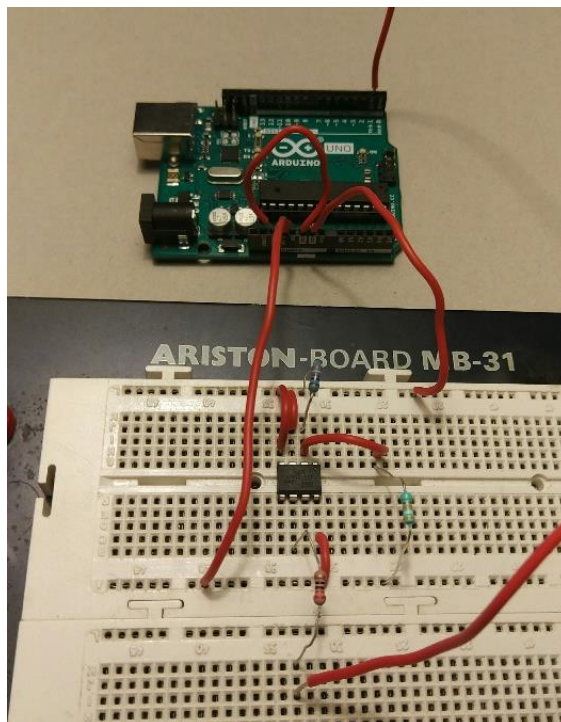


Figura 34 – Conexiones para transmitir los datos medidos al ordenador

En este ejemplo el microcontrolador esta alimentado por el pin de 3.3V del Arduino Uno. La entrada positiva de la medida es un divisor de tensión que se conecta en el pin PB3 y la entrada negativa está conectado a la referencia.

6. PRUEBAS EXPERIMENTALES

Se han realizado ensayos de medida de corriente y de consumo eléctrico de diferentes cargas en distintos modos de consumo (activo, Standby, apagado, en espera...) para estudiar el comportamiento del sistema diseñado y obtener valores de referencia para utilizar como limites en la programación. A continuación, se enumeran las pruebas que se han hecho:

- 1- Medida de consumo de cargas resistivas en un banco de resistencias
- 2- Comparativa de medidas de un consumo de onda senoidal y una rectificada del mismo valor
- 3- Medida y comparativa del consumo de un monitor CRT Compac medido con osciloscopio y el prototipo.
- 4- Medidas de consumo de aparatos eléctricos de un hogar



6.1 INTERPRETACIÓN DE DATOS

Antes de empezar con los ensayos se aclararán como se interpretan los resultados que se obtienen y como se hace la transformación del valor obtenido (ordenador) a la estimación de potencia consumida.

Señal de medida:

La señal que mide el microcontrolador es equivalente a un rectificador de media onda sin condensador, es decir, se pierde el componente negativo de la señal. El método utilizado para medir da como resultado el valor medio de la corriente. Para obtener el valor eficaz RMS depende de la forma de la onda (funcionamiento típico de un multímetro):

- Senoidal onda completa:

$$V_{medio} = \frac{2}{\pi} * V_{pico} = \frac{2}{\pi} * V_{RMS} * \sqrt{2}$$

$$V_{RMS} = V_{medio} * \frac{\pi}{2 * \sqrt{2}} = V_{medio} * 1,1107$$

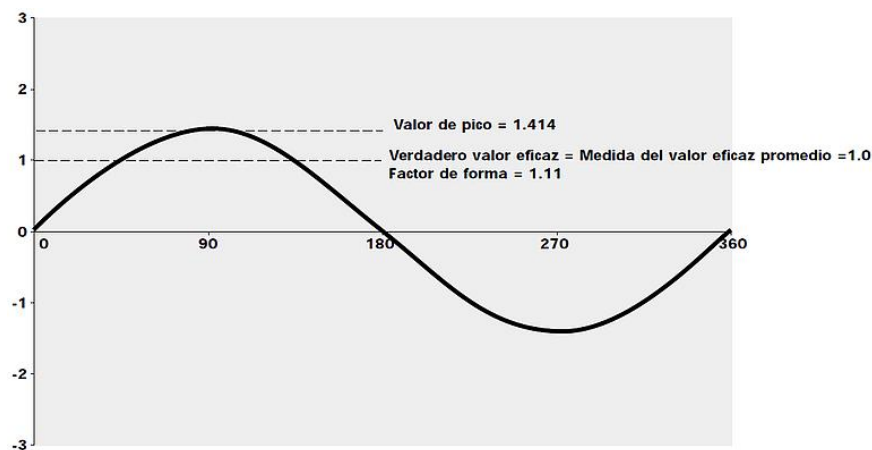


Figura 35 - Cálculo de RMS con Vmedio en onda senoidal

- Senoidal media onda:

$$V_{RMS} = V_{medio} * \frac{\pi}{2 * \sqrt{2}} * 2 = V_{medio} * \frac{\pi}{\sqrt{2}} = V_{medio} * 2.2214$$

- Otras ondas:

Tipo de multímetro	Onda senoidal pura	Onda cuadrada	Diodo rectificador monofásico	Diodo rectificador trifásico
Forma de onda				
RMS de valor promedio	Correcto	10% más alto	40% más bajo	5-30% más bajo

Figura 36 - Errores de cálculo al pasar de Vmedio a RMS



Como se muestrea:

- El prototipo toma 4096 muestras cada vez que mide
- El valor máximo de cada muestra es de 1023.

Para tener la medida más exacta posible, se suman todas las medidas en un variable, pero no se realiza una media del resultado. Cuando se hace una división entre números enteros, se pierden los datos del resto (los bits menos significativos).

Únicamente se divide por 4 para que el resultado sea un poco mas estable.

Equivalente en potencia:

Una vez almacenado el valor medido, para pasar al equivalente en potencia tenemos que hacer esta operación:

$$P = \text{Resultado} * \frac{1}{1023} * \frac{1.1}{1023*20} * \frac{\pi}{\sqrt{2}} * 230 = \text{Resultado} * 0,01790123$$

Únicamente vale esta relación para corrientes senoidales, pero se tomará como referencia

Trasmisión de datos:

Para transmitir los datos se utiliza la conexión serial explicada anteriormente

6.2 RESULTADOS

A continuación, se expondrán los resultados obtenidos en gráficas y tablas. Antes de nada, unas aclaraciones:

- Una vez adecuado calculada la potencia que ha medido el prototipo (Potencia equivalente), se le ha multiplicado una relación, para corregir los posibles errores y perdidas de medida que se hayan podido originar.

Esta relación se ha obtenido directamente del primer ensayo realizado. Se ha modificado el resultado para que la pendiente de la gráfica sea exactamente la unidad.

Relación = 1,01471

Desde ese punto, todos los ensayos tienen aplicado esta relación para determinar la potencia medida.

- En el ensayo de onda senoidal y rectificada se han utilizado estos componentes:
 - o Condensador: 100μF (Rizado máximo 0.5)
 - o Resistencias: 6,6Ω (16 resistencias de 820Ω y 1 de 7Ω)



6.2.1 ENSAYO CON BANCO DE RESISTENCIAS

RESIST. (Ω)	POT. IDEAL (W)	RESIST. REAL (Ω)	POT REAL (W)	GANANCIA	RESULTADO	ADECUADO A GAIN X1	POT EQUIVALENTE (W)	POT MODIFICADO (W)
1320	41,67	1403	37,70	20	40872	2043,60	36,58	37,1212
880	62,5	937	56,46	20	62077	3103,85	55,56	56,3802
440	125	459	115,25	20	126620	6331,00	113,33	115,0002
220	250	231	229,00	20	254150	12707,50	227,48	230,8269
440//220	375	153,1	345,53	1	18258	18258,00	326,84	331,6496
110	500	117	452,14	1	24136	24136,00	432,06	438,4212
440//110	665	93,3	566,99	1	30527	30527,00	546,47	554,5113
220//110	750	77,8	679,95	1	37286	37286,00	667,47	677,2859
55	1000	58,1	910,50	1	49060	49060,00	878,23	891,1561
440//55	1115	51,7	1023,21	1	55791	55791,00	998,73	1013,4221
220//55	1250	46,6	1135,19	1	62029	62029,00	1110,40	1126,7330
110//55	1500	39	1356,41	1	74502	74502,00	1333,68	1353,3003
220//110//55	1750	33,7	1569,73	1	86855	86855,00	1554,81	1577,6878

Tabla 27 - Medida de consumo de cargas resistivas en un banco de resistencias

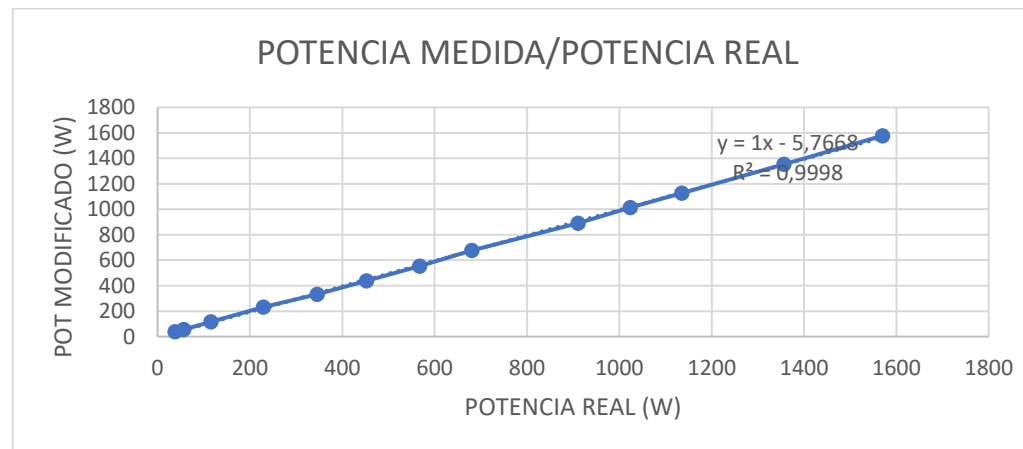


Gráfico 4 – Relación entre la potencia medida y la potencia real

6.2.2 ENSAYO SENOIDAL Y SENOIDAL RECTIFICADA

SENOIDAL						
TENSIÓN SENOIDAL	TENSION EN RESISTENCIA	RESISTENCIA (Ω)	POT REAL (W)	RESULT.	VALOR RMS	POT MEDIDA (W)
7,13	7,13	50,8	1,0007	47600	0,000555	1,3402
9,83	9,83	51,1	1,8910	65780	0,000765	2,5534
12,39	12,39	49,5	3,1013	84094	0,000964	4,1144
14,07	14,07	48,5	4,0818	96122	0,001095	5,3405
15,67	15,67	48,4	5,0733	106097	0,001220	6,5651
17,45	17,45	48,6	6,2655	118680	0,001358	8,1779
18,46	18,46	48,3	7,0553	126005	0,001437	9,1852
19,93	19,93	48,6	8,1729	136735	0,001551	10,7611
20,97	20,97	48,1	9,1422	144634	0,001632	11,9767
22,06	22,06	48,5	10,0339	152401	0,001717	13,2758

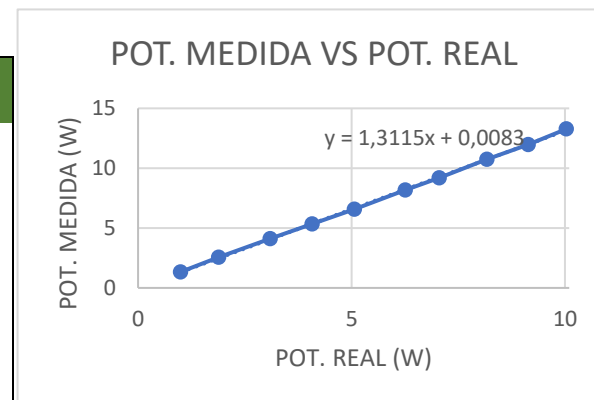


Gráfico 4 – Potencia medida respecto potencia real con corriente senoidal

RECTIFICADA						
TENSIÓN SENOIDAL	TENSION RECTIFICADA	RESISTENCIA (Ω)	POT REAL (W)	RESULT.	VALOR RMS	POT MEDIDA (W)
7,03	5,86	49,0	0,7008	44099	0,00055	1,2242
10,00	8,80	48,8	1,5869	66920	0,00078	2,6426
12,29	11,90	48,8	2,9018	84401	0,00096	4,0961
14,17	13,04	48,5	3,5060	99144	0,00110	5,5476
15,69	14,65	48,5	4,4252	111585	0,00122	6,9135
17,15	16,14	48,3	5,3934	123086	0,00133	8,3357
18,44	17,42	48,5	6,2568	133815	0,00144	9,7439
20,00	19,02	48,3	7,4899	146569	0,00156	11,5755
20,75	19,76	48,2	8,1008	152074	0,00162	12,4607
22,10	21,20	48,0	9,3633	162787	0,00172	14,2063

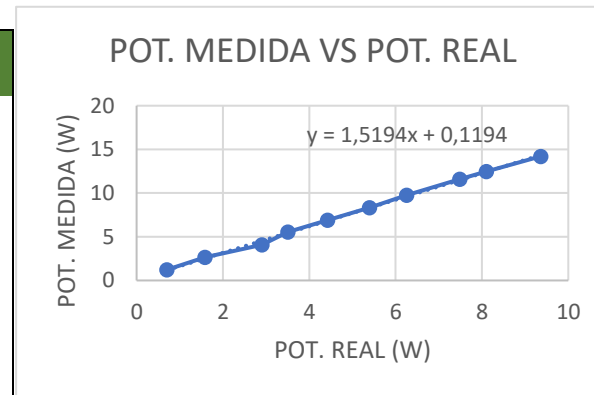


Gráfico 5 – Potencia medida respecto potencia real con corriente senoidal rectificado

Tabla 28 - Comparativa de medidas de un consumo de onda senoidal y una rectificada del mismo valor



6.2.3 COMPARATIVA OSCILOSCOPIO VS PROTOTIPO

PROTOTIPO		
RESULTADO	POT EQUIVALENTE (W)	POT MODIFICADO (W)
67529	60,4426	61,3319

OSCILOSCOPIO		
TENSION RMS	RESISTENCIA (Ω)	POTENCIA TOTAL (W)
2,15	6,6	74,9242

Tabla 29 - Medida del consumo de un monitor CRT Compac

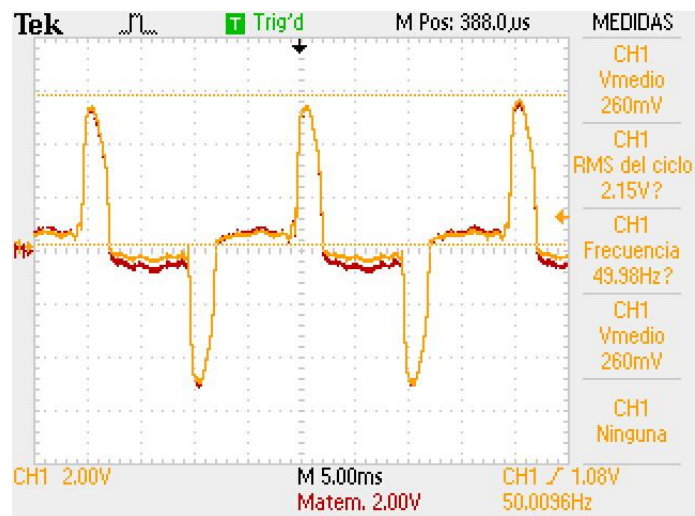


Gráfico 5 - Medida de un monitor Compaq con un osciloscopio

```
N° MUESTRAS: 4096
VALOR: 67219
MEDIA: 67571

GANANCIA: 1

N° MUESTRAS: 4096
VALOR: 67758
MEDIA: 67580

GANANCIA: 1

N° MUESTRAS: 4096
VALOR: 68529
MEDIA: 67627
```

Figura 37 Medida de un monitor Compaq en el microcontrolador Attiny85



6.2.4 CONSUMO DE UN HOGAR

STANDBY/ESPERA	RESULTADO (W)
RUIDO	0,40
TOSTADORA	0,41
SECADOR	0,88
PLANCHA DE PELO	15,15
TIRA LUCES LEDS	0,97
CAFETERA NESPRRESO	0,64
IMPRESORA 3D	5,36
ROUTER	10,10
CARGADOR MOVIL	0,40
CARGADOR PC	2,73
TV	9,00

Tabla 30 - Resumen de consumos en Standby/Espera medidos en los equipos del hogar

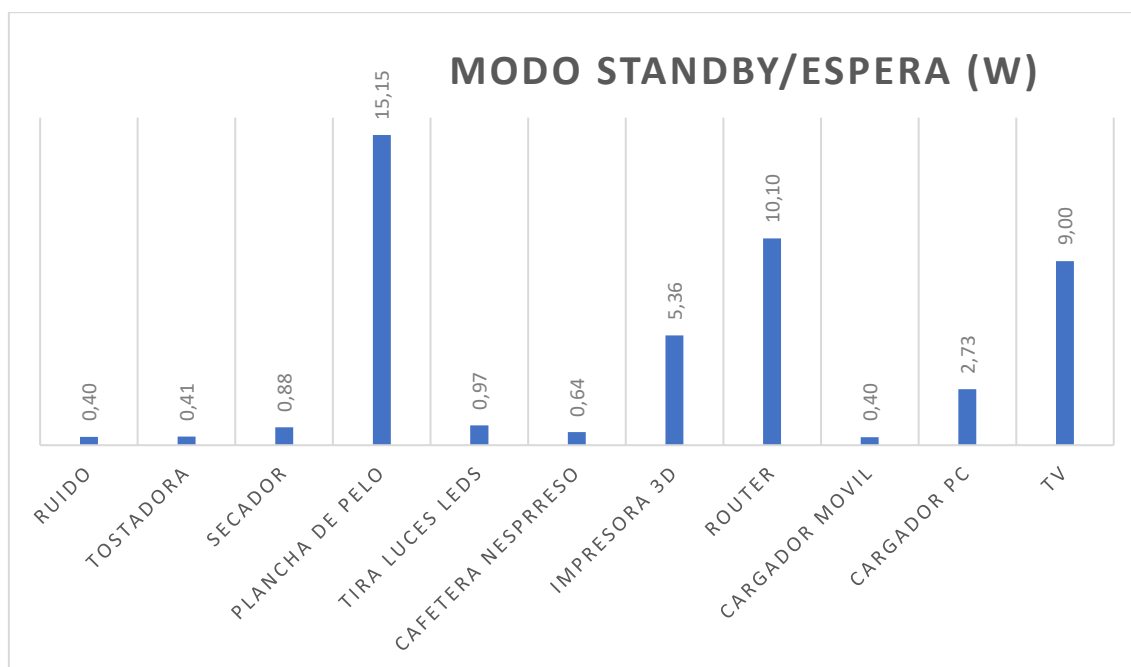


Gráfico 6 - Resumen de consumos en Standby/Espera medidos en los equipos del hogar



ACTIVO	RESULTADO (W)
RUIDO X20	0,40
PLANCHA DE PELO	177,8
TIRA LUCES LED	2,17
BATIDORA AMERICANA	161,65
IMPRESORA 3D (CALENTANDO)	44,78
ROUTER ONO-VODAFONE	13,49
CARGADOR TELEFONO MOVIL XIAOMI	19,36
CARGADOR PORTATIL ASUS	3,39
TV LED	47,35
RUIDO X1	3,53
SECADORA	1987,81
TOSTADORA	564,53
CAFETERA NESSPRESO	1129,07
PLANCHA	2081,72

Tabla 31- Resumen de consumos en Activo medidos en los equipos del hogar

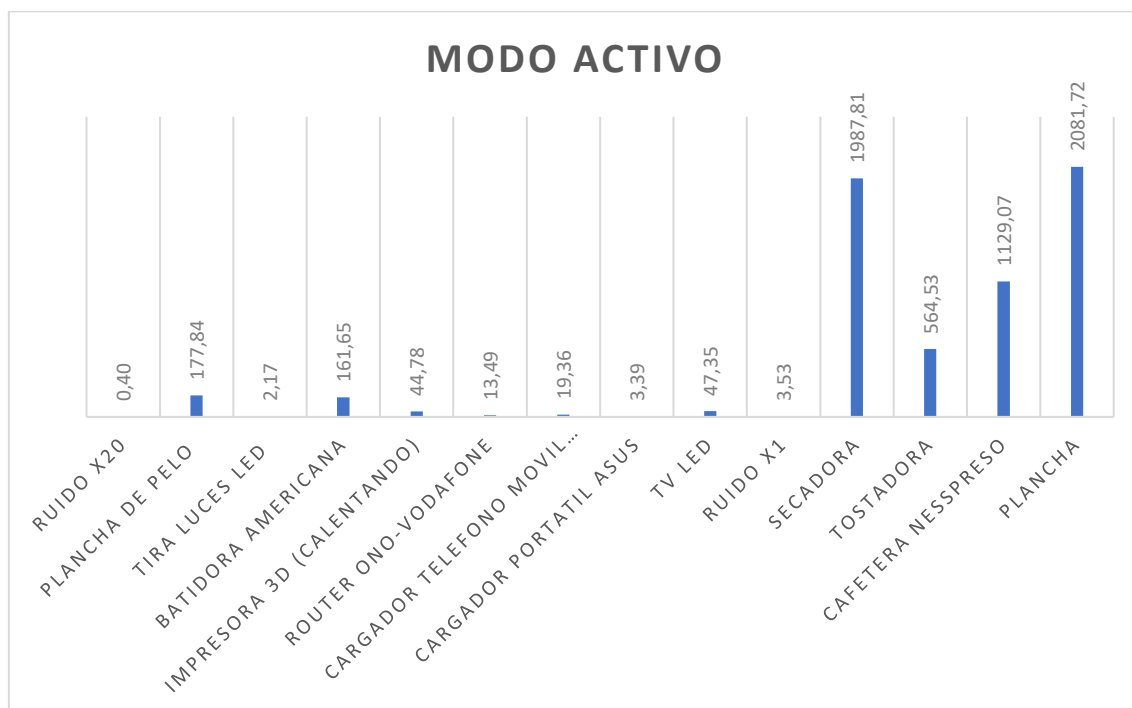


Tabla 32 - Resumen de consumos en Activo medidos en los equipos del hogar

6.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

6.3.1 ENSAYO CON BANCO DE RESISTENCIAS

Empezando por el ensayo de banco de resistencias el resultado es francamente bueno. Los datos obtenidos de la medida estaban muy cerca del valor real de potencia. Las medidas de resistencias y tensiones para calcular la potencia real se habían realizado con un multímetro digital bueno.

Podemos concluir que, con corrientes senoidales y cargas puramente resistivas, la medida se asemeja mucho a la realidad. Con un pequeño factor de corrección (relación)

6.3.2 ENSAYO SENOIDAL Y SENOIDAL RECTIFICADA

En este ensayo se ha pretendido simular un consumo real de un aparato eléctrico que funciona con corriente continua. Se ha realizado un barrido de tensiones desde 0V a 10V para luego comparar los resultados obtenidos con la potencia real.

Además, se comprueba si la medida sin rectificar da el mismo resultado que la señal rectificada. Teóricamente la potencia consumida es la misma si se desprecian las caídas en los diodos.

Para el rectificado de la tensión, se ha utilizado un puente de diodos y un condensador en paralelo con las resistencias

A continuacion se muestras los montajes realizados:

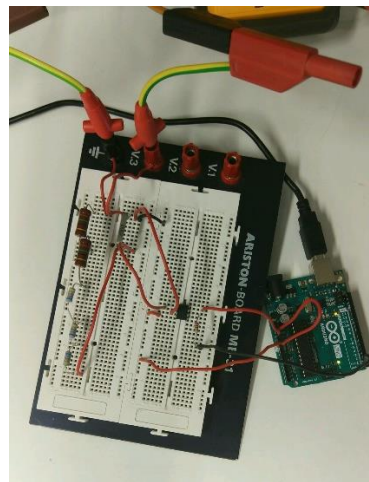


Figura 38 (izquierda) - Montaje del ensayo de tensión senoidal

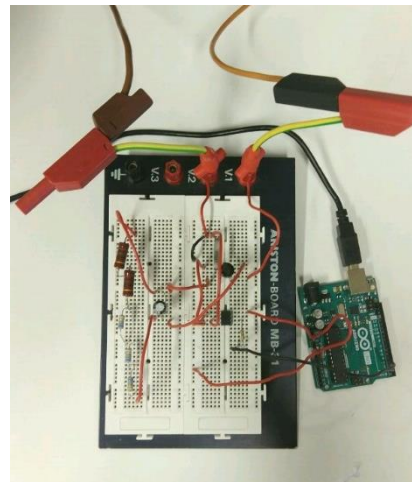


Figura 39(derecha) - Montaje del ensayo de tension senoidal rectificado

Los dos casos dan un resultado mayor a lo esperado, pero no hay mucha diferencia entre los dos casos. Este resultado es muy bueno para nuestra aplicación, ya que, lo importante es que tenga la capacidad de medir corrientes pequeñas y que sea una medida precisa.



Lo ideal sería que también fuera una medida exacta, pero hay muchos condicionantes que afectan al resultado:

- La relación aplicada para transformar el resultado a la potencia equivalente solo es válida para corrientes senoidales
- El ruido tiene mayor influencia en corrientes pequeñas
- El calentamiento de las resistencias aumenta su valor, y en consecuencia, la potencia medida baja.

6.3.3 COMPARATIVA OSCILOSCOPIO VS PROTOTIPO

Este ensayo está dirigido a estudiar la exactitud de la medida del microcontrolador. Se ha medido el mismo monitor con el osciloscopio y con el prototipo.

A continuación, se muestra el montaje realizado para la medida del osciloscopio:

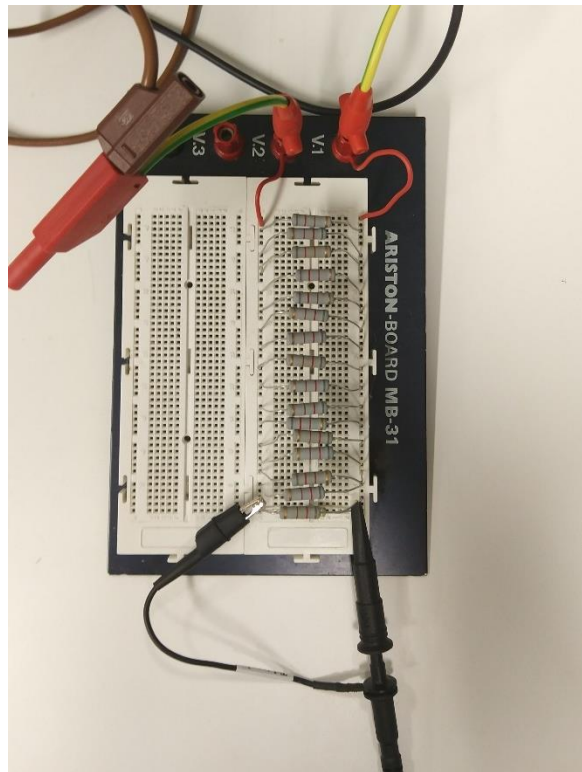


Figura 40 - Montaje del ensayo de medida con osciloscopio

Se han obtenido potencias bastante diferentes en los dos casos, estos pueden haber sido las razones:

- La resistencia que se ha instalado para medir la diferencia de tensión influye en el resultado de la medida obtenida.
- Los argumentos del caso anterior sirven para este caso también.

6.3.4 CONSUMO DE UN HOGAR

Este ensayo está dirigido a hacer medidas reales y comprobar la capacidad que tiene el microcontrolador de hacer medidas de equipos que están en Standby, apagados, activos...

No se puede asegurar que las potencias medidas sean reales por lo que hemos ido viendo en los ensayos anteriores. Aun así, se ha demostrado que tiene una sensibilidad muy alta cuando se necesita medir corrientes pequeñas y una precisión y exactitud aceptable con corrientes altas.

Lo mas importante es que el resultado obtenido en todos los casos era muy estable y siempre del mismo valor.

Este argumento es suficiente para decir que las pruebas han sido satisfactorias y el prototipo funcionara perfectamente con una buena programación.

7. MONTAJE FINAL

El punto de funcionamiento dependerá de la medida. En este esquema se describe visualmente como toma las decisiones el interruptor. En la zona roja corta el suministro:

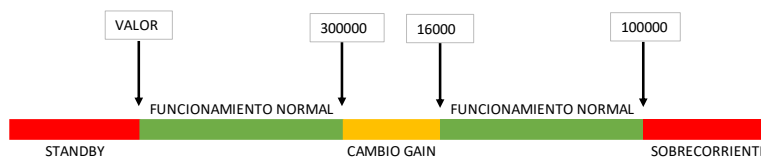


Figura 41 - Esquema de funcionamiento de la medida en la programación

El resultado implementado se puede ver en estas dos imágenes:

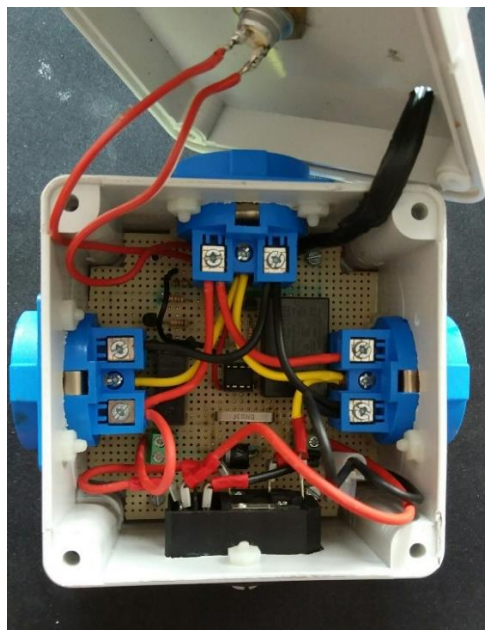


Figura 42 - Montaje final, conexiones



Figura 43- Interruptor Automático en funcionamiento

8. PRESUPUESTO

En este apartado se muestran todos los elementos necesarios para la realización del interruptor automático. La tabla está compuesta por dos columnas, 2 precios totales. En una se refleja el presupuesto necesario comprando en una tienda unidades sueltas, y en la otra compra en masa. Por otro lado, comentar que se han utilizado componentes directamente del Laboratorio³ y no se sabe el precio que tienen.

COMPONENTE	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (€)	PRECIO TOTAL POR MAYOR (€)	PRECIO GRANDES CANTIDADES (€)
Microcontrolador	1	1,26	1,26	1,05
Relé	1	4,77	4,77	3,47
Shunt	1	1,40	1,40	0,59
Convertidor	1	5,51	5,51	4,35
Diodo	1	1,08	1,08	0,83
Enchufe Hembra	3	2,71	8,13	6,78
Placa Prototipado	1	5,09	5,09	4,59
Caja	1	3,34	3,34	3,06
Conector IEC14 + Portafusible + Interruptor	1	1,25	1,25	1,25
Conector Baja Potencia	2	2,65	5,30	3,36
Conector 16A	1	0,94	0,94	0,59
TOTAL			38,07	29,91

Tabla 33 - Presupuesto Total

LABORATORIO
Pulsador
Transistor
Cable TSOP
Fusible
Cables

Tabla 34 - Componentes sin precio

³ Laboratorio de Energía Renovables, Edificio de los Pinos, UPNA



9. PROBLEMAS ENCONTRADOS

Los problemas encontrados durante la realización de este proyecto han sido bastantes, por lo cual, enumeran en orden:

- Búsqueda de datos: No ha sido nada fácil encontrar datos actualizados de consumo de Standby en los hogares. La mayoría de los datos encontrados son del año 2000, medidas que ya no tienen utilidad.
- En el diseño de la placa, se ha tenido el inconveniente de que los componentes no encajaban bien en la placa de prototipado. Se ha solucionado rápidamente agujereando con un taladro
- En un principio, el circuito se diseñó para alimentar el receptor con un pin del microcontrolador. El diseño de mando de la alimentacion con los transistores y resistencias generaban tensiones internar que no se habían considerado en un principio. Por esta razón, cuando la placa estaba soldada, se tuvo que modificar el circuito y dejar un transistor y una resistencia sin hacer nada. No ha sido un problema grave, pero es una pena no controlar la alimentacion. Alimentando el receptor directamente de la fuente de alimentacion y conectando la salida al reset, el diseño se podría modificar para utilizar menos componente. Además del transistor que queda inoperativo, podríamos utilizar solo dos pines para controlar los disparos del relé y utilizar el tercero únicamente para el pulsador.
- Los problemas más importantes han surgido a la hora de programar y probar las funciones del microcontrolador. Las pruebas individuales no presentaban dificultades, pero al unir y combinar funciones de interrupciones para despertar del modo ahorro, tenían interferencias y el sistema se volvía muy inestable. Esta problemática no estaba explicada en el datasheet y a veces ha sido difícil encontrar donde estaba el error.
- Por último, por un fallo humano, cuando estaba realizando las pruebas con el ordenador portátil, conecte el cargador al ordenador creando un cortocircuito. El puerto usb estaba conectado a la red (GND con patilla negativa de la resistencia) midiendo cargas resistivas en el banco de resistencias. A consecuencia de esto se estropeó el ordenador portátil y el Arduino Uno, junto con el microcontrolador Attiny85. Fue un hándicap importante retrasando mucho el avance del proyecto.



10. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS

10.1 CONCLUSIONES

El resultado final ha sido totalmente satisfactorio ya que se ha logrado el objetivo principal que se planteó inicialmente, crear un prototipo que funcione para ahorrar consumos de Standby. En el mercado ya existían estos dispositivos, pero ha sido complicado encontrar ejemplos para tener alguna referencia.

Esto significa que este método de ahorro no está muy extendido en la sociedad. La gente no está muy concienciada sobre la importancia de estos consumos, sobre el efecto de contaminación que producen,

Se ha cumplido el objetivo de crear un prototipo sencillo con capacidad de utilizar en situación diversas. Se ha conseguido una alta sensibilidad para medir corrientes y, sorprendentemente, muy estables. La medida varia muy poco en diferentes mediciones que se han realizado. Significa que la programación y el diseño del circuito ha sido bueno, con poco ruido.

El consumo del sistema es prácticamente insignificante. El componente que tiene peor rendimiento es el convertidor analógico-digital, con un consumo mínimo de 0.075W cuando no hay cargas conectadas. El circuito compuesto por el microcontrolador, relé y el receptor infrarrojo, consume muy poco. El relé tiene un pico de potencia bastante alto, pero es muy corto y se activa en muy pocas ocasiones durante el día. No es fácil hacer una estimación del consumo total, depende de la eficiencia del convertidor.

En cuanto al precio, teniendo en cuenta el precio que tendría una producción en masa, no es muy caro. Hay algunos componentes que aumentan mucho el precio, que se podría encontrar alternativas más baratas, como la caja, los enchufes o la placa de prototipado, por lo que existe margen de mejora.

10.2 LINEAS FUTURAS

Como aspectos de mejora para el futuro, lo primero sería aislar la parte de potencia del control. En este proyecto se ha decidido no utilizar acondicionamiento de la señal para la medida, pero existen alternativas que también pueden ser viables para conseguir este propósito. Lograr este aislamiento daría un plus de seguridad al usuario.

Controlar la alimentación del receptor IR, no es crucial, pero estaría bien hacerlo cuando el programador quiere. En este proyecto no se ha llegado a una solución para conseguir implementar este método.

Por otro lado, el circuito se ha soldado a mano en una placa de prototipado. Una buena mejora sería crear una placa PCB de dos capas, para mejorar el circuito y las conexiones realizadas. Para un prototipo no se puede exigir más, pero para el futuro estaría bien hacer un diseño en un software informático, como por ejemplo DesingSpark, e implementarlo.

Por último, se plantearía una mejor elección de componentes para ahorrar costes. Los elegidos para este proyecto no son malos, pero existe la posibilidad de buscar alternativas.



11. REFERENCIAS

- [1] Adaptado de “*More Data, Less Energy*”, International Energy Agency (IEA), Jun., 2014, pp 51).
- [2] Meie A. “*Should the next standby power target be 0-watt?*”, LBNL – 2001019, Jun, 2017.
- [3] “Reglamento (ce) nº 1275/2008 de la comisión”, Parlamento Europeo, 17 Dic, 2007, pp ANEXO II.
- [4] “Standby Power and Battery Charger Forum”, Equipment Energy Efficiency (E3), Melbourne, 14 Sept., 2011.
- [5] Mudgal S., “Networked Standby Policy Framework Workshop”, Toronto, 8 mar, 2013.
- [6] “THINGS THAT GO BLIP IN THE NIGHT”, International Energy Agency, 2001
- [7] “Standby and Off-Mode Energy Losses In New Appliances Measured in Shops”, ISR - University of Coimbra, Nov 2010.
- [8] “Third Survey of Residential Standby Power Consumption of Australian Homes”, Equipment Energy Efficiency (E3), 2010.
- [9] [En línea]
<https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.ELEC.KH.PC?end=2014&locations=AU&start=1960&view=chart> [Accedido: 14-jun-2018]



12. ANEXOS

12.1 ANEXO I

PROGRAMACION DE LA MEDIDA

```
//LIBRERIA COMUNICACION SERIAL
#include <TinyDebugSerial.h>
TinyDebugSerial mySerial = TinyDebugSerial();

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
//DECLARAR VARIABLES
unsigned short m=0; // NUMERO DE MUESTRAS
byte byte_bajo=0; // BYTE MENOS SIGNIFICATIVO DE LA MEDIDA
unsigned short completo=0; // SUMA DE BYTE MENOS SIGNIFICATIVO Y MAS SIGNIFICATIVO
unsigned long suma=0; // SUMA DE COMPLETO "M" VECES
unsigned long media=0; // MEDIA DE LAS SUMAS

boolean gain=1; // GANANCIA DEL CONVERTIDOR ANALOGICO DIGITAL
// 1 - 20x
// 0 - 1x

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// VOID SETUP
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

void setup() {
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
//CONFIGURACION DEL ADC
ADMUX=0; //ASEGURAR QUE EL REGISTRO ESTA EN 0
ADMUX =
    (0 << ADLAR) | // AJUSTE IZQUIERDO DESHABILITADO (PARA MEDIDAS DE 10-BIT)
    (0 << REFS2) | // VREF INTERNO DE 1.1V, bit 2
    (1 << REFS1) | // VREF INTERNO DE 1.1V, bit 1
    (0 << REFS0) | // VREF INTERNO DE 1.1V, bit 0
    (0 << MUX3) | // USAR ADC2 Y ADC3 COMO ENTRADA(PB4 Y PB3), MUX bit 3
    (1 << MUX2) | // USAR ADC2 Y ADC3 COMO ENTRADA(PB4 Y PB3)), MUX bit 2
    (1 << MUX1) | // USAR ADC2 Y ADC3 COMO ENTRADA(PB4 Y PB3), MUX bit 1
    (1 << MUX0); // GANANCIA X20, MUX bit 0

ADCSRA=0;
ADCSRA =
    (1 << ADEN) | // HABILITAR ADC
    (1 << ADPS2) | // PREESCALAR A 125K, bit 2
    (1 << ADPS1) | // PREESCALAR A 125K, bit 1
    (1 << ADPS0); // PREESCALAR A 125K, bit 0
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
//CONFIGURACION COMUNICACION SERIAL

mySerial.begin( 9600 ); // CONFIGURACION CONEXIÓN SERIAL
mySerial.println("Hastera doa..."); // MENSAJE DE INICIO

}

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
```



DISEÑO E IMPREMENTACIÓN DE UN INTERRUPTOR AUTOMÁTICO CON APERTURA POR DETECCIÓN DE STANDBY Y CIRRE POR CONTROL REMOTO

```
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
//INTERRUPCION

ISR(ADC_vect ) {
    cli();
    m++;
}

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
//BUCLE MEDIR - 4000 MEDIDAS

void medir() {
    // SUBROUTINA MEDIR DONDE SE MIDE DURANTE 1 SEGUNDO (4096 MUESTRAS)

    //////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
    //MODOS DE AHORRO DE ENERGIA

    MCUCR=0;
    MCUCR |= (1<<SE);
    MCUCR |= (1<<SM0);

    ADCSRE |= (1<<IPR);

    while(m<4096) {
        ADCSRA |= (1 << ADIF);
        ADCSRA |= (1 << ADSC);

        sei();
        asm volatile("sleep");
        cli();

        byte_bajo = ADCL;
        completo = ADCH<<8 | byte_bajo;

        suma+=completo;

        suma=(suma>>2);

        mySerial.print("Nº MUESTRAS: ");
        mySerial.println(m,DEC);
        m=0;

    }

    suma=(suma>>2);

    mySerial.print("Nº MUESTRAS: ");
    mySerial.println(m,DEC);
    m=0;

    //////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
    //V O I D   L O O P   //////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
    //////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

    void loop() {
        medir();
        media=media*0.95+suma*0.05;

        mySerial.print("VALOR: ");
        mySerial.println(suma,DEC);
        mySerial.print("MEDIA: ");
        mySerial.println(media,DEC);
        mySerial.println();

        if (suma>300000 && gain==1){
            ADMUX &= ~(1<<MUX0);
            gain=0;
        }

        else if (suma<16000 && gain==0){
            ADMUX |= (1<<MUX0);
            gain=1;
        }

        mySerial.print("GANANCIA: ");
        mySerial.println(gain,DEC);
        mySerial.println();
        mySerial.println();

        suma=0;
    }
}
```



PROGRAMACION DEFINITIVA

18 de junio de 2018



Arkaitz Retegi Zamorano

18 de junio de 2018

73





18 de junio de 2018



Arkaitz Retegi Zamorano



12.3 ANEXO III

[En línea] Acceso a datasheets [Accedido el 14-Junio-2018] :

CAJA: <http://www.farnell.com/datasheets/2222854.pdf>

ENCHUFE: <https://docs-emea.rs-online.com/webdocs/13dc/0900766b813dc37e.pdf>

RELE: https://www3.panasonic.biz/ac/e_download/control/relay/power/catalog/-mech_eng_dw.pdf

TRANSISTOR: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/BC546.pdf>

CONVERSOS AC/DC: <http://www.meanwell.com/Upload/PDF/IRM-01/IRM-01-SPEC.PDF>

R SHUNT: <https://docs-emea.rs-online.com/webdocs/0dbb/0900766b80dbb98c.pdf>

PLACA PROTOTIPADO: <http://www.farnell.com/datasheets/1909512.pdf>

INFRARROJOS: <http://www.farnell.com/datasheets/2049436.pdf>

DIODO: <http://www.vishay.com/docs/89960/vsb2045y-m3.pdf>